Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Pedro Rodrigues Pimenta

Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares

outubro de 2014

João Pedro Rodrigues Pimenta **Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares**

UMinho | 2014

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Pedro Rodrigues Pimenta

Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Biológica
Ramo Tecnologia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor João Peixoto
e da
Eng.ª Margarida Côrrea
(EDP Gestão da Produção de Energia de Portugal, SA)

outubro de 2014

DECLARAÇÃO

Nome: João Pedro Rodrigues Pimenta

Endereço eletrónico: jprpimenta30@gmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 13929650

Título da dissertação: Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares

Orientadores: Professor Doutor João Peixoto e Eng.ª Margarida Côrrea

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Biológica, Ramo Tecnologia do Ambiente

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE

Universidade do Minho, 27 de Novembro de 2014

Asssinatura:_____

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Declaração RepositóriUM: Dissertação de Mestrado

Nome: João Pedro Rodrigues Pimenta

N.º do Cartão de Cidadão/BI: 13929650 Telefone/Telemóvel: 910375849

Correio eletrónico: jprpimenta30@gmail.com

Curso: Mestrado Integrado em Engenharia Biológica Ano de conclusão da dissertação: 2014

Área de Especialização: Tecnologia do Ambiente

Escola de Engenharia, Departamento/Centro: Engenharia Biológica

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO/TRABALHO DE PROJETO

Título em PT: Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares

Título em EN: Optimizing the consumption of chemicals applied in the Cooling Tower of Lares Combine Cycle Power Plant

Orientador: Professor Doutor João Monteiro Peixoto

Coorientador:

Número de Unidades ECTS da Dissertação: 30 Classificação em valores (0 a 20): 18

Classificação ECTS com base no percentil (A a F):

Declaro sob compromisso de honra que a dissertação agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Universidade do Minho, UM.

Declaro que concedo à Universidade do Minho e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha dissertação, em suporte digital.

Concordo que a minha dissertação seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto (assinale um):

1. ☒ Disponibilização imediata do trabalho para acesso universal;
2. ☐ Disponibilização do trabalho para acesso exclusivo na UM, durante o período de
   ☐ 1 ano, ☐ 2 anos ou ☐ 3 anos, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso universal.
3. ☐ Disponibilização do trabalho de acordo com o **Despacho RT-98/2010 c)** (embargo # anos)

Braga, 27 de Novembro de 2014

Assinatura: _____

“A persistência é o melhor caminho para o êxito.” (Charles Chaplin)

Agradecimentos

"Alone we can do so little, together we can do so much." (Helen Keller)

Obrigado,

À Engª. Margarida Côrrea, por toda a atenção dispensada, pela simpatia, pelas palavras e por sempre ter acreditado que seria possível;

Ao Professor João Peixoto, Professor José Maria Oliveira e Professor Vitorino Beleza, pela atenção, conselhos e disponibilidade;

À EDP, nomeadamente à Central Termoelétrica de Lares, pela oportunidade da realização do estágio, pelas pessoas que me permitiu conhecer, por todo o conhecimento transmitido, pela orientação e apoio prestado. Um agradecimento especial à Vanessa, à Joana, ao Keston e ao Filipe;

À Calais, à Sílvia, à Tina, ao Pedro e ao Dinis, por toda a dedicação, ajuda e paciência nestes últimos meses;

À Família, nomeadamente Mãe, Miguel, Isá, Kiki, Sofia, Tio Ângelo e Avós, pelo apoio incondicional, pelos valores incutidos, pela paciência e sobretudo pelo exemplo;

Aos Amigos de Sempre, pela constante presença e apoio, por toda a preocupação, carinho e amizade;

Aos Biológicos, por serem os companheiros deste ciclo de estudos, por todos os momentos que me proporcionaram, pelos laços que criamos e pela família que se tornaram;

À AAUM, pelas experiências vividas, pelas pessoas que me trouxe, por tudo o que me permitiu aprender, pelas adversidades e por me ter permitido crescer;

A todos os que de alguma forma fizeram parte deste ciclo de estudos e fizeram deste um dos grandes momentos da minha vida.

Muito obrigado por tudo!

Resumo

A Central Termoelétrica de Lares, da EDP Produção, no seu processo de produção de energia elétrica possui um circuito de arrefecimento, em que a água utilizada é submetida a um tratamento químico.

A presente dissertação teve como objetivo o estudo e a otimização do tratamento químico aplicado nas torres de arrefecimento, tendo em consideração a função e eficiência dos produtos químicos utilizados.

Um dos principais equipamentos deste sistema é a torre de arrefecimento em que a água para compensação de perdas por evaporação é captada do rio Mondego. Os produtos químicos usados no tratamento da água de arrefecimento são: anti-incrustante, biodispersante, hipoclorito de sódio e ácido clorídrico.

O estudo do doseamento do anti-incrustante foi realizado através da determinação do Índice de Saturação de Langelier e de Stiff & Davis. Relativamente ao biodispersante e ao hipoclorito de sódio utilizado como desinfetante, o estudo consistiu em análises microbiológicas e determinações de cloro livre residual.

Verificou-se que o valor máximo do Índice de Saturação atingido pela água de compensação foi de 0,4, revelando que a água não evidencia tendência incrustante. Quanto ao biodispersante observou-se que este é dispensável na presença de quantidade suficiente de hipoclorito de sódio, uma vez que as amostras não apresentavam microrganismos neste cenário.

Concluiu-se, perante os resultados obtidos, que não há a necessidade da aplicação de anti-incrustante nem de biodispersante, desde que a desinfeção e limpeza do sistema esteja sempre assegurada. Sugere-se a redução de 15 % da atual quantidade de hipoclorito de sódio utilizada e prevê-se uma redução no consumo de ácido clorídrico e bissulfito de sódio, uma vez que estes são adicionados em consequência do hipoclorito de sódio.

Com este estudo foi possível uma mitigação dos impactes ambientais, assim como uma redução dos custos económicos. Tendo por base o histórico de custos económicos associados ao consumo, verificou-se que esta poupança pode chegar a um valor até cerca de 20 mil euros anuais.

Palavras-chave: torre de arrefecimento; otimização; produtos químicos

Abstract

Lares Combine Cycle Power Plant from *EDP Produção* at its electric power production process has a cooling system, where the water used is submitted to a chemical treatment.

The present dissertation aimed to study and optimize the treatment process, taking in to account the function and the efficiency of the chemical products applied.

One of the main equipment of the system is the cooling tower where the water used to counterbalance the losses caused by evaporation is seized from Mondego's river.

The chemical products applied in the cooling water treatment are: anti-fouling product, biodispersant, sodium hypochlorite and hydrochloric acid. Concerning biodispersant and sodium hypochlorite applied as disinfectant, the study consisted in microbiological analysis and value of residual free chlorine determinations.

It was found that the maximum value of the Saturation Index was achieved by the compensation water, presenting a value of 0.4, which reveals the absence of water fouling trend. Regarding the biodispersant, it was verified that its supplying is not necessary in the presence of enough quantity of sodium hypochlorine, since the samples did not possess microorganisms.

It was concluded, from the obtained results, that there's no need to apply either anti-fouling or biodispersant product, when the disinfection and cleansing of the system are assured.

It is suggested a 15 % reduction of the sodium hypochlorite currently applied, as well as the consumption of hydrochloric acid and sodium bisulfite, since these products are added in consequence of sodium hypochlorine.

This research made possible to mitigate the environmental impacts, as well as reduce economic costs. Based on the economic costs history, it was verified that with the introduction of this methodology saving can achieve an annual value of 20 thousand euros.

Keywords: cooling tower; optimization; chemical products

Abreviaturas e variáveis

DA – Declaração Ambiental

DL – Decreto-Lei;

EDP – Energias de Portugal, S. A.

EDP Produção – EDP Gestão de Produção de Energia, S. A.

EMAS – Sistema de Eco-gestão e Auditoria da União Europeia

FGRP – Poliéster reforçado com fibra de vidro

IS – Índice de Saturação

NP – Norma Portuguesa

REN – Redes Energéticas Nacionais, S. A.

SIGAS – Sistema Integrado de Gestão do Ambiente e da Segurança

STD – Sólidos totais dissolvidos

TAC – Alcalinidade total

Índice

1. Introdução 1
1.1. Objetivos e organização da dissertação 3
1.2. Sobre a Empresa... 5
1.2.1. A história e evolução da EDP 5
1.3. EDP Gestão de Produção de Energias, S.A. 7
1.4. Central Termoelétrica de Lares 9
1.4.1. Gás Natural 11
1.4.2. Ciclo Combinado 11
1.4.3. Processo Produtivo 12
2. Sistema de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares 17
2.1. Circuitos de Arrefecimento 19
2.1.1. Torre de Arrefecimento 19
2.1.2. Tratamento e controlo da água de arrefecimento 24
2.2. Sistema de Arrefecimento do Processo Produtivo 29
2.3. Água de compensação 34
2.3.1. Marés 34
2.3.2. Qualidade da água de compensação 36
2.3.3. Enquadramento Geológico 40
2.3.4. Tratamento da água de arrefecimento da Central 41
3. Produtos Químicos 49
3.1. Anti-incrustante 51
3.1.1. Propósito 51
3.1.2. Metodologia 53
3.1.3. Trabalho experimental 55
3.1.4. Resultados 55

3.1.5. Discussão dos Resultados 57
3.2. Biodispersante 60
3.2.1. Propósito 60
3.2.2. Metodologia 61
3.2.3. Trabalho experimental 61
3.2.4. Resultados 64
3.2.5. Discussão dos Resultados 66
3.3. Hipoclorito de sódio 68
3.3.1. Propósito 68
3.3.2. Proposta de controlo 71
3.4. Outros produtos adicionados 72
3.4.1. Ácido clorídrico 72
3.4.2. Bissulfito de sódio 73
4. Estudo económico 75
5. Considerações Finais 83
5.1. Conclusões 85
5.2. Sugestões de Trabalho Futuro 87
Bibliografia 89
Anexos 93
A. Determinação do *K* para cálculo do *S&DIS*. 95
B. Determinação da Dureza Cálcica 96
C. Determinação da força iónica das amostras 97
D. Relação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Dureza Total 99
E. Automatização da injeção de hipoclorito de sódio. 100

Índice de Figuras

Figura 1. Perspetiva cronológica do Grupo EDP (EDP, 2014). 5
Figura 2. Cadeia de Valor do Grupo EDP (EDP, 2014). 6
Figura 3. Central Termoelétrica de Lares. 9
Figura 4. Processo produtivo da Central Termoelétrica de Lares. 12
Figura 5. Turbina a gás. Figura 6. Turbina a vapor. 13
Figura 7. Chaminé de um dos grupos da Central Termoelétrica de Lares. 14
Figura 8. Torre de arrefecimento com tiragem natural. 20
Figura 9. Torre de arrefecimento com tiragem mecânica. 20
Figura 10. Torre de tiragem mecânica por insuflação. 21
Figura 11. Torre de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares. 29
Figura 12. Ventilador de uma unidade de arrefecimento da Torre de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares. 31
Figura 13. Circuito de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares. 32
Figura 14. Localização geográfica da Central Termoelétrica de Lares. 34
Figura 15. Relação entre condutividade e *STD*. 37
Figura 16. Relação entre condutividade e temperatura. 37
Figura 17. Relação entre condutividade e durezas (total e cálcica). 38
Figura 18. Relação entre condutividade e pH. 39
Figura 19. Zona geológica da bacia hidrográfica da água de compensação. 40
Figura 20. Filtros Monopack (filtros de areia) da Central Termoelétrica de Lares. 42
Figura 21. Relação entre condutividade e *IS*. 56
Figura 22. Esquema representativo do ensaio laboratorial. 62
Figura 23. Diagrama para determinação do K. 95
Figura 24. Determinação da dureza cálcica. 96
Figura 25. Determinação da força iónica. 98
Figura 26. Relação entre *STD* e dureza total. 99
Figura 27. Automatização da injeção de hipoclorito de sódio. 100

Índice de Tabelas

Tabela 1. Intervalos de valores de *IS* e respetivos significados 54
Tabela 2. Resultados do trabalho experimental para estudar o produto biodispersante 64
Tabela 3. Volume gasto de produtos químicos com o tratamento atual até 2013 78
Tabela 4. Volume gasto de produtos químicos com o tratamento proposto até 2013 78
Tabela 5. Custo económico gasto em produtos químicos com o tratamento atual até 2013 80
Tabela 6. Custo económico gasto em produtos químicos co m o tratamento proposto até 2013 80
Tabela 7. Iões existentes na água do mar 97

1. Introdução

1.1. Objetivos e organização da dissertação

No âmbito desta dissertação, pretendeu-se realizar um estudo ao tratamento aplicado à água de arrefecimento, nas bacias das torres de arrefecimento, da Central Termoelétrica de Lares, da EDP Produção, analisando a eficiência e viabilidade de otimização do mesmo.

Com a realização deste estudo pretendeu-se:

– Conhecer o sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares: os constituintes principais e o princípio de funcionamento;

– Estudar a função e aplicação dos produtos químicos utilizados no tratamento da água de arrefecimento;

– Otimizar a injeção de químicos nas bacias de arrefecimento;

– Retirar as devidas conclusões do estudo, bem como conclusões colaterais que poderão advir do mesmo;

– Propor formas de abordagem, baseadas nas conclusões referidas supra, no que respeita ao sistema de arrefecimento.

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, orientados no sentido de apresentar o trabalho desenvolvido nos últimos meses. No primeiro capítulo, pretende-se apresentar o Grupo EDP, a sua política e missão, os seus objetivos e serviços, e ainda a sua cadeia de valor; seguidamente pretende-se apresentar uma das suas empresas constituintes, a EDP Produção que integra no seu portfólio a Central de Termoelétrica de Lares. Quanto a esta, são referidos os moldes em que a mesma foi criada. De forma subsequente, apresenta-se a Central Termoelétrica de Lares, local de realização integral do estudo, dando-se a conhecer qual a sua localização, quando foi construída e o seu processo produtivo.

O segundo capítulo constitui-se na apresentação do equipamento onde ocorre a refrigeração da água do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares, assim como na apresentação do circuito e no funcionamento do mesmo. Aqui também é referida qual a origem da água utilizada para compensar a água de arrefecimento (água de compensação), quais os problemas associados à mesma e qual o tratamento aplicado à água de arrefecimento de forma a evitar esses mesmos problemas.

Já no terceiro capítulo encontram-se expostos todos os produtos aplicados no tratamento da água de arrefecimento, sendo alvo de uma explicação individual em subcapítulos, que contempla, em cada um deles, as características do respetivo produto, assim como os materiais e métodos utilizados durante

a execução do trabalho experimental aplicado ao mesmo produto, tendo em conta a existência de resultados práticos e as conclusões que advirão dos mesmos. O subcapítulo intitulado "Outros produtos adicionados" trata dos produtos aos quais não houve a necessidade de realizar trabalho experimental, nomeadamente o ácido clorídrico e o bissulfito de sódio, cujo o doseamento dos mesmos está claramente definido em função de determinados parâmetros – pH e concentração de cloro residual livre residual, respetivamente –, explicando o seu efeito quanto às práticas adotadas pela Central Termoelétrica de Lares e possíveis práticas a aplicar.

No quarto capítulo é o estudo económico o objeto de trabalho: ele tem uma estrutura que permite a comparação do valor dispensado ao longo dos últimos quatro anos com a utilização do tratamento atual aplicado nas bacias de arrefecimento, com o custo do possível tratamento proposto para o mesmo efeito, no âmbito da dissertação. Claramente se depreende que este capítulo tem como intuito demonstrar quais as vantagens económicas e ambientais do novo tratamento proposto em relação ao tratamento praticado atualmente.

Por fim, no quinto capítulo faz-se uma síntese das principais conclusões resultantes de todo o trabalho realizado no domínio desta dissertação e apresentam-se algumas ideias e sugestões para desenvolvimentos futuros no que respeita à otimização do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares.

1.2. Sobre a Empresa...

A EDP nasceu em 1976 com a fusão de 13 empresas do setor elétrico português. Desde então, o Grupo EDP não parou de crescer e evoluir (Figura 1), tornando-se numa das maiores multinacionais portuguesas, líder no setor de energia. O Grupo EDP é liderado pela EDP – Energias de Portugal, S.A. e tem por objeto a promoção, dinamização e gestão, por forma direta ou indireta, de empreendimentos e atividades na área do sector energético (EDP, 2014). Segundo a Declaração Ambiental (DA) de 2012 da Central Termoelétrica de Lares, as empresas do Grupo EDP são geridas como unidades de negócio relativamente autónomas, operando no setor energético em várias geografias, com uma atividade maioritária no setor da produção e distribuição de energia elétrica. É dos maiores grupos industriais portugueses, um dos maiores produtores de energia na Península Ibérica e um dos maiores operadores energéticos europeus. Além de operar no setor elétrico, também tem uma operação sólida no setor do gás da Península Ibérica (EDP, 2014). Hoje, a EDP ocupa o 280.º lugar no *ranking* das marcas mais valiosas do mundo e de acordo com o estudo da consultora "*Brand Finance*" divulgado, em março de 2011, o grupo empresarial vale cerca de 2775 milhões de euros.

Figura 1. Perspetiva cronológica do Grupo EDP (EDP, 2014).

1.2.1. A história e evolução da EDP

A primeira marca EDP nasceu em 1978, com a denominação de EDP – Eletricidade de Portugal/Empresa Pública, tratando-se apenas de uma marca de negócio. É no ano de 1991 que a empresa adota uma identidade jurídica diferente daquela que detinha: passa então a Sociedade Anónima. Com isto e com os novos valores que a empresa visa atingir, houve também uma necessidade de mudança gráfica. Esta aconteceu em 1993 com uma total rutura face à antiga marca, com o intuito de se aproximar dos seus clientes e acionistas. Mas mais mudanças se seguiram com o mesmo intuito: em 2003, o Grupo desenvolveu o conceito central do que seria a nova marca, operando-se no ano seguinte o grande *rebranding* e reposicionamento da EDP – um sorriso próximo e simples. Também neste ano a EDP alterou a sua assinatura. De "Eletricidade de Portugal", passa a identificar-se por

"Energias de Portugal", porque o seu negócio deixa de abranger apenas o setor elétrico e passa a contemplar outras atividades no setor energético.

Mas como no mercado negocial nada é estanque, a empresa tem a necessidade de novos ajustamentos. E é por isto que em 2006, depois da liberalização do mercado doméstico do setor elétrico em Portugal, a EDP assume um novo posicionamento, que face aos consumidores e demais interessados se traduziu numa nova assinatura – "Sinta a nossa energia" – e numa nova plástica tridimensional, com maior impacto visual e mais flexível e adaptável. Em 2009, a assinatura sofre uma mudança evolutiva passando de "Sinta a nossa Energia" para "Viva a nossa Energia". Em 2011, a marca EDP entrou numa nova fase da sua história: com uma forma adaptável a vários contextos convidando o cliente a experienciar, de forma plástica e interativa, a cooperação com todo o grupo empresarial.

A cadeia de Valor do Grupo EDP representa o conjunto das atividades desenvolvidas pelas diferentes empresas do mesmo (Figura 2). O setor a ser abordado neste estudo é o setor elétrico, mais concretamente no que toca à geração de energia, onde se inclui a produção térmica que no seu processo produtivo implica um sistema de arrefecimento, situando-se na empresa responsável pela geração de energia elétrica, a EDP Produção (EDP, 2014).

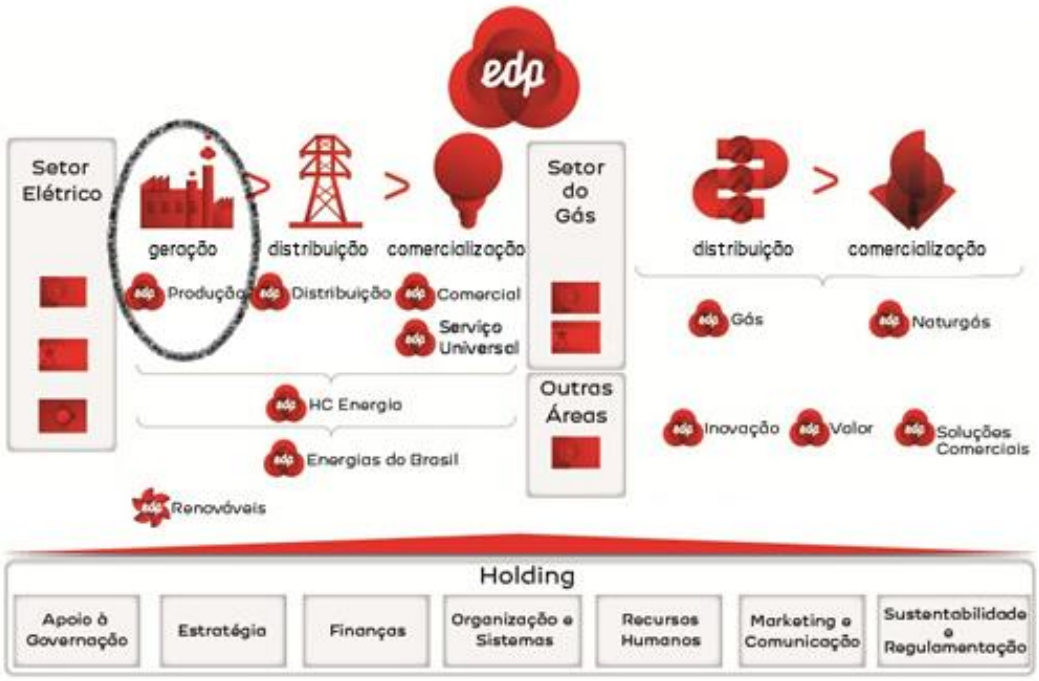

Figura 2. Cadeia de Valor do Grupo EDP (EDP, 2014).

A EDP integra os índices de Sustentabilidade *Dow Jones*, que é o primeiro indicador bolsista do desempenho financeiro das empresas líderes em sustentabilidade a nível global. As empresas que o integram classificam-se como as mais capazes de criar valor para os acionistas, a longo prazo, através de uma gestão dos riscos associados tanto a fatores económicos, como ambientais e sociais (McGraw Hill Financial, 2014).

1.3. EDP Gestão de Produção de Energias, S.A.

A EDP Produção é o Centro de Competências do Grupo EDP para o negócio da produção de eletricidade. Como refere a DA 2013 da Central Termoelétrica de Lares, esta é pois a empresa do Grupo que integra no seu objeto social a produção, compra, venda, importação e exportação de energia sob a forma de eletricidade e outras, resultantes da exploração de instalações próprias ou alheias, garantindo a evolução sustentada do sistema electroprodutor nacional. Ela detém e explora um dos portfólios de produção mais equilibrados da Península Ibérica considerando o peso significativo da produção hídrica, a eficiência das suas centrais a carvão e a importância das suas centrais de ciclo combinado de gás natural. Sob gestão da EDP Produção estão 78 centrais hidroelétricas, 12 centros termoelétricos e 9927 MW de potência instalada. A diversidade de instalações EDP passa pelas barragens, lagos artificiais (nomeadamente o Alqueva, o maior lago artificial da Europa), Centros Termoelétricos a Carvão e Centros de Ciclo Combinado a Gás Natural.

Na área da produção de eletricidade em Portugal, a EDP Produção concentra a grande maioria dos centros electroprodutores do Grupo EDP, nomeadamente a totalidade das grandes centrais hidroelétricas e termoelétricas, as pequenas hídricas e, ainda, as centrais de cogeração das empresas FISIGEN e ENERGIN, sendo que nesta última detém apenas uma participação maioritária.

A EDP Produção participa também em 50 % na BIOELETRICA, empresa que dispõe atualmente das centrais a biomassa de Mortágua, Ródão, Figueira da Foz e Constância.

A produção de eletricidade reúne a Produção em Regime Ordinário (PRO) e a Produção em Regime Especial (PRE) – produção de eletricidade com a utilização de diferentes recursos (hídrica, eólica, sólidos urbanos e florestais) e a produção combinada de calor e eletricidade. O parque termoelétrico da EDP Produção em PRO é constituído por Centros de Produção que integram instalações de diversificada tecnologia e fonte energética primária, nomeadamente: duas centrais de ciclo combinado a gás natural (Lares e Ribatejo), uma central convencional a carvão (Sines), e uma central de turbinas a gás utilizando gasóleo (Tunes) (EDP Produção, 2014).

Segundo a DA, a EDP Produção dispõe de um Sistema de Gestão Ambiental certificado pela NP EN ISO 14001, em todas as instalações termoelétricas desde o ano de 2010. No entanto, a EDP Produção detém o registo no Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria (EMAS), em todas as suas instalações, com o intuito de perseguir uma melhoria constante do seu desempenho ambiental.

1.4. Central Termoelétrica de Lares

A necessidade de encontrar soluções viáveis para garantir a segurança de abastecimento de energia elétrica ao país, tendo em conta o previsível crescimento do consumo interno e do mercado ibérico liberalizado, impôs o crescimento da capacidade de produção com base em combustíveis fósseis, aliado a uma política de elevada proteção ambiental, para além do reforço da produção em grandes e médios aproveitamentos hidroelétricos ou com origem em outros recursos renováveis e ainda com recurso a produção de energia através de ciclos combinados (Martins & Santos, 2005).

Em consonância com o exposto e por informações de documentos da empresa, o Grupo EDP decidiu construir a Central Termoelétrica de Lares (Figura 3), com vista à produção de energia elétrica a preços competitivos, utilizando para isso tecnologia de forma a uma eficiência que se aproxime do ótimo, quer em termos económicos quer em termos ambientais.

Figura 3. Central Termoelétrica de Lares.

Esta Central está situada na margem direita do rio Mondego a cerca de 7 km a Este da Figueira da Foz, na localidade de Lares, freguesia de Vila Verde. A seleção deste local resultou de uma avaliação da sua adequabilidade tendo em conta diversos fatores ambientais, técnicos e socioeconómicos, designadamente a viabilidade de cumprimento de legislação ambiental aplicável, a boa inserção na Rede Nacional de Transporte e a proximidade da Rede de Armazenagem de Gás Natural (localizando-se esta em Carriço).

A sua construção iniciou-se em 2007 e foi atribuída ao consórcio GE, Cobra e CME, com o valor global estimado da obra de 400 M€ e o tempo de vida útil esperado de 25 anos. A sua exploração iniciou-se em 2009 e é realizada pela Tergen, S.A, uma empresa que pertence à EDP Produção – Gestão

de Produção de Energia, S.A., tendo como finalidade a operação e manutenção de Centrais Termoelétricas.

A Central Termoelétrica de Lares detém na sua constituição duas linhas de produção de energia (grupos), que utilizam tecnologia de Ciclo Combinado, cujo funcionamento será explicitado infra, com queima de gás natural. Esta tecnologia implementada no que toca à produção de energia elétrica permite não só o funcionamento da turbina a gás, com gás natural, mas também com gasóleo representando pois uma reserva de combustível de segurança, para que possa existir produção de energia elétrica de forma alternativa colmatando uma possível falta de gás natural, para que o abastecimento de energia elétrica por parte da Central esteja sempre garantido.

Desde 2010 que a Central Termoelétrica de Lares está certificada de acordo com a NP EN ISO 14001:2004, um normativo que consiste num sistema de gestão ambiental integrado, agregando quer as políticas ambientais quer os planos estratégicos de ambiente, da informação ambiental e do desempenho ambiental das organizações; está certificada pela OHSAS 18001:2007, uma norma que oferece orientações sobre avaliações de saúde e segurança no trabalho, levando em consideração a prevenção de acidentes, a redução de riscos e o bem-estar dos seus colaboradores. No entanto, para obter uma orientação e monitorização de forma sistémica, foi criado o Sistema Integrado de Gestão do Ambiente e da Segurança (SIGAS), que integra as duas certificações descritas.

Também no ano de 2010, a Central de Lares iniciou a implementação de políticas e ferramentas baseadas na filosofia LEAN, que visam a melhoria contínua da empresa e o aumento de valor para o cliente. Nos anos seguintes foram desenvolvidas um conjunto de iniciativas que permitiram a manutenção do SIGAS e da filosofia LEAN e o registo da Central Termoelétrica de Lares no EMAS, substanciado em 2013, que visa a concretização do domínio da estratégia de desenvolvimento, através da aplicação de práticas e procedimentos na realização das atividades, que permitam rentabilizar recursos e se traduzam na melhoria contínua do desempenho ambiental da instalação (EDP, 2014).

Uma central termoelétrica consiste numa instalação onde se produz energia elétrica através da transformação de energia de combustíveis fósseis sejam líquidos (petróleo), sólidos (carvão) ou gasosos (gás natural). Uma vez que as fontes de energia utilizadas neste processo são não renováveis devido à sua constituição, a sua obtenção depende das suas reservas naturais existentes. Estes combustíveis, grandes fornecedores de energia térmica, estão associados a grandes níveis de poluição, uma vez que os produtos resultantes da combustão dos mesmos são o dióxido de carbono, o dióxido e trióxido de enxofre e grandes quantidades de poeiras que são emitidas para a atmosfera. De entre os combustíveis

fósseis existentes, o gás natural é o mais limpo e um dos mais seguros: não é tóxico e é mais leve que o ar (Portal do Ambiente e do Cidadão, 2005).

1.4.1. Gás Natural

O gás natural corresponde a uma mistura estável de gases (hidrocarbonetos leves) dos quais o constituinte principal é o Metano – CH_4 (83 % a 99 %). Trata-se de um combustível fóssil mais limpo relativamente ao petróleo e ao carvão, e um dos combustíveis mais seguros. As reservas de gás natural são encontradas na natureza de forma abundante relativamente a outros combustíveis congéneres. Também no que respeita ao seu custo existem claramente vantagens, uma vez que este consegue uma redução de 70%, face ao gasóleo.

O gás natural é o combustível, derivado de fontes não renováveis, menos poluente, decorrendo deste facto diversas vantagens ambientais diretas, nomeadamente: as emissões de dióxido de carbono (CO_2) podem ser até 20% inferiores relativamente a outros combustíveis fósseis; as emissões de óxidos de azoto (NO_x) podem também ser até 40% inferiores; não emite dióxidos de enxofre (SO_x), e a sua contribuição para a formação de ozono troposférico é muito inferior em comparação com os demais combustíveis da mesma natureza. Concomitantemente, o processo de transformação do metano em combustível é muito menos exigente em termos energéticos do que o processo de transformação dos combustíveis convencionais derivados do petróleo. No que à segurança diz respeito, o gás natural dissipa-se na atmosfera em caso de acidente, evitando os riscos de incêndio criados por poças de gasolina ou gasóleo no chão, o que o torna muito respeitado neste âmbito. O facto de os reservatórios de gás natural ocuparem entre quatro a cinco vezes mais espaço do que os reservatórios de combustíveis tradicionais, é um problema que este combustível nos apresenta. Apesar desta última questão, é de concluir que existem vantagens consideráveis na utilização do gás natural como combustível para várias aplicações, nomeadamente para produção de energia elétrica (Cabral, 2014).

1.4.2. Ciclo Combinado

A tecnologia Ciclo Combinado numa central é a junção de dois ciclos térmicos: Brayton e Rankine. Ao ciclo de Brayton está associada a turbina a gás e ao de Rankine está associada a turbina a vapor.

O calor presente nos gases de exaustão da turbina a gás é recuperado na caldeira recuperativa de calor que produz vapor para acionar a turbina a vapor. Num ciclo simples apenas se utiliza um dos ciclos isoladamente: a caldeira com a turbina a vapor nas típicas centrais convencionais a carvão ou fuelóleo; ou a turbina a gás em funcionamento em ciclo aberto, sem recuperação dos gases de exaustão.

No ciclo combinado os dois sistemas interagem, configurando o que se chama de central de ciclo combinado (Oddone, 2001).

1.4.3. Processo Produtivo

Segundo documentos da EDP Produção, a Central Termoelétrica de Lares possui dois grupos de ciclo combinado, alimentados a gás natural (ou alternativamente a gasóleo como já referido), instalados para a produção de energia elétrica. Cada um deles tem um processo produtivo (Figura 4) igualitário mas independente do outro, com uma potência elétrica, P_e, de 431,33 MW; sendo de compreender que a Central Termoelétrica de Lares tem uma capacidade de produção energética, P_e = 862,66 MW.

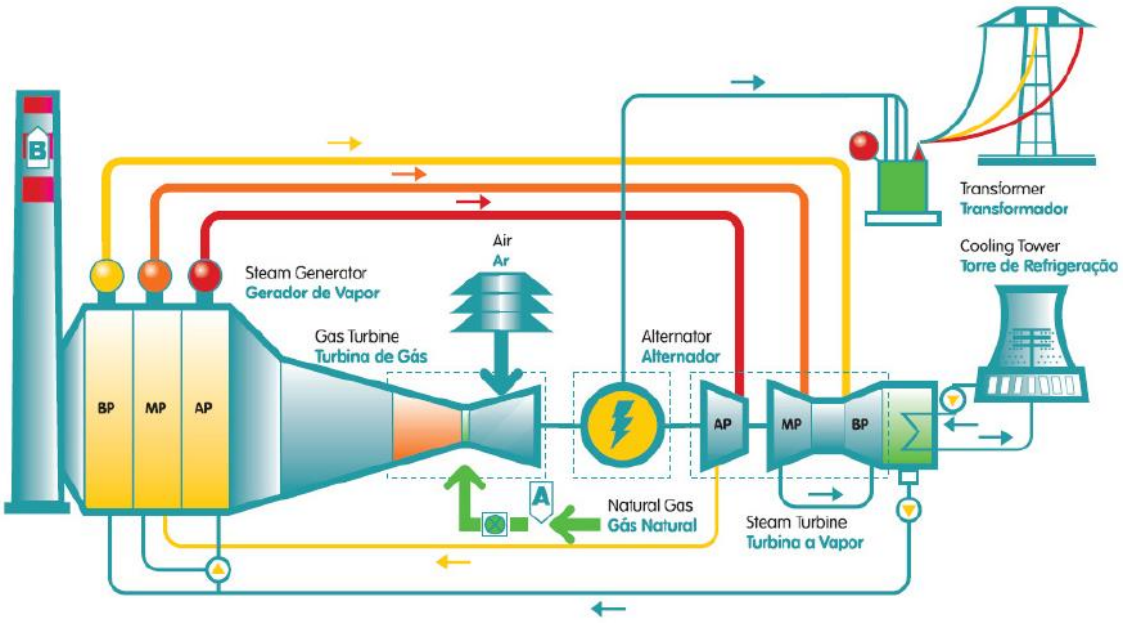

Figura 4. Processo produtivo da Central Termoelétrica de Lares.

O processo produtivo, como facilmente se depreenderá, é bastante complexo, envolvendo diferentes equipamentos que concorrem para a sua realização. Para melhor perceber-se a geração de energia, torna-se imperativo compreender quais as funções que cada equipamento desempenha no processo produtivo. Assim, os equipamentos principais são: veio único (turbina a gás, alternador e turbina a vapor), caldeira recuperativa de calor, chaminé e sistemas de potência de controlo de instrumentação. No entanto são também necessários equipamentos auxiliares aos equipamentos de processo, sendo eles o condensador, a torre de arrefecimento e as bombas hidráulicas. Na Central Termoelétrica de Lares, o processo produtivo é levado a cabo em dois grupos, o que faz com que todos

estes equipamentos aqui referidos estejam, nesta Central, em duplicado. Seguidamente, será exposta a constituição e funcionamento de cada um destes intervenientes na produção de energia elétrica.

Com base nos documentos da GE *Power Plant*, ao conjunto da turbina a gás, da turbina a vapor e do alternador, dá-se o nome de veio único. Estes componentes são coaxiais, ou seja, encontram-se montados num veio comum, rodando sempre solidários e dependentes uns dos outros.

Na turbina a gás (Figura 5) dá-se a combustão (internamente) realizando-se o processo de conversão da energia do combustível a altas temperaturas; na turbina a vapor (Figura 6), tem-se a acumulação do vapor de água produzido na caldeira, resultante do calor gerado pela combustão da matéria-prima na turbina a gás, existindo com isto um movimento das pás da turbina a vapor, que levará à existência de energia mecânica; por fim, já no alternador existe a conversão de energia mecânica em energia elétrica.

Figura 5. Turbina a gás.

Figura 6. Turbina a vapor.

Cabe aqui fazer uma explicitação quanto à turbina a gás natural, uma vez que esta é um dos principais equipamentos de uma central deste tipo. Normalmente, utiliza o combustível gás natural, embora seja possível operar com um segundo combustível. É composta por um compressor que é responsável por injetar ar a uma pressão superior àquela que se encontra na forma original (comprimindo o ar de combustão); por uma câmara de combustão onde se dá a mistura do combustível com o ar comprimido, transformando a energia química em energia térmica e cinética dos gases e por uma turbina onde os gases de combustão a alta pressão e temperatura se expandem, gerando energia mecânica (U.S. Departament of Energy, 2014).

Também a caldeira recuperativa de calor (gerador de vapor) é um dos componentes principais no processo produtivo de energia elétrica. Ela encontra-se acoplada à turbina a gás. É na caldeira que se dá a recuperação do calor emanado dos gases de exaustão resultantes do processo de combustão, produzindo água quente ou vapor saturado (Freitas, 2007). Esta encontra-se abastecida com água

desmineralizada e possui três níveis de pressão (alta, média e baixa) e ainda com um barrilete (depósito onde a água líquida se separava do vapor por gravidade) associado a cada pressão.

A chaminé (Figura 7) tem como função expelir os gases resultantes da combustão; já os sistemas de potência, de controlo e de instrumentação têm a função de assegurar o bom funcionamento do processo.

Figura 7. Chaminé de um dos grupos da Central Termoelétrica de Lares.

Para a realização do processo produtivo de energia elétrica, os componentes acima descritos não bastam. Torna-se necessária a utilização de equipamentos auxiliares ao funcionamento e à rentabilidade de todo o processo. Existem, assim, na Central equipamentos de suporte ao processo, nomeadamente um condensador que se encontra englobado na turbina a vapor e tem como finalidade a mudança do estado físico da água (de gasoso para líquido); uma torre de arrefecimento que tem como função o arrefecimento da água do condensador através de permutas de calor; e, por último, bombas hidráulicas que são equipamentos rotativos com o objetivo de efetuar ou manter o deslocamento de um líquido por escoamento.

Quanto ao processo produtivo de energia elétrica da Central Termoelétrica de Lares pode dizer-se que para além do envolvimento de variadíssimos componentes ele é também complexo, compreendendo diferentes fases que ocorrem em simultâneo. Seguidamente apresentam-se as referidas fases.

O processo produtivo inicia-se na turbina a gás, onde o ar atmosférico captado pelo compressor é comprimido e direcionado para a câmara de combustão e conjuntamente é injetado o combustível (gás natural). Segue-se uma fonte de calor para iniciar o fenómeno de combustão, dando-se um aumento da temperatura para aproximadamente 1400 °C, segundo documentos da GE *Power Plants*. Os gases tóxicos emanados nesta fase são expelidos através da chaminé.

É nesta altura que entra em funcionamento a caldeira recuperativa de calor que está acoplada à turbina a gás. Esta contém água desmineralizada e, por fenómenos de transferências de calor, é capaz de recuperar parte do calor dos gases de exaustão das turbinas a gás que se perderia para o ambiente. É, deste modo, responsável por um aumento da eficiência térmica, através da geração de vapor produzido na caldeira que aciona as pás da turbina a vapor, produzindo assim energia mecânica, não havendo a necessidade de combustão de mais gás ou outro combustível para a geração de mais energia. Note-se que a capacidade energética da turbina a vapor é metade da energia elétrica gerada pela turbina a gás. Através da energia mecânica proveniente das turbinas e fornecida ao eixo do alternador (gerador elétrico), este transforma-a em energia elétrica. Esta transformação provém de fenómenos eletromagnéticos, descritos pela lei de Faraday-Lenz, que afirma que ao submeter-se um enrolamento à influência de um campo magnético variável é produzida uma tensão aos seus terminais (OpenStax, 2014).

Finalmente, segundo documentos da EDP Produção, a energia elétrica obtida é encaminhada para um transformador que transfere a corrente elétrica para o valor adequado para seguir para a REN – Redes Energéticas Nacionais, no nível de tensão de 400 kV, que distribui a energia elétrica e faz com que seja utilizada pela população no dia-a-dia.

No entanto, como já se referiu, a estas tecnologias é necessário juntar outras para que o processo de produção de energia elétrica seja mais eficiente. Para isso é necessário perceber o papel que têm os equipamentos auxiliares no que a este assunto diz respeito.

O vapor que se encontra na turbina a vapor atravessa o condensador, passando de novo ao estado líquido e volta à caldeira de recuperação de calor, sendo por isso denominado como circuito de ciclo fechado. O condensador encontra-se sob vácuo e a permuta de calor é efetuada com uma fonte fria: a água que provém da torre de arrefecimento.

As purgas são partes de correntes que são rejeitadas para o exterior que permitem que a massa de inertes introduzidos no processo juntamente com a alimentação seja eliminada do processo produtivo (Lakos, 2014). Elas estão assim presentes ao longo do processo de forma a retirar e depositar no meio ambiente os sedimentos acumulados que podem ser responsáveis por possíveis danos nos equipamentos.

No que aos aspetos ambientais diz respeito, tendo por base documentos da Central Termoelétrica de Lares, tem-se que as reduzidas emissões específicas de poluentes atmosféricas, designadamente SO_2, NO_x, CO_2 e partículas, têm um efeito muito positivo na melhoria do desempenho ambiental do sistema electroprodutor. Tem-se também, relativamente ao ruído ambiente, em consideração diversas

soluções de minimização e insonorização para que nos limites da Central Termoelétrica de Lares o nível de ruído gerado seja sempre inferior a 65 dB.

Por fim, pela DA 2013 da Central Termoelétrica de Lares, salienta-se que cada grupo da central consome 58,32 t/h de gás natural, correspondendo, referido à emissão, a um consumo específico nominal de 6233 kJ/kWh, sendo a sua eficiência de conversão energética de 57,76%. Quando se utiliza gasóleo a potência elétrica unitária na emissão é de 423,76 MW, consumindo-se 70,08 t/h e um consumo específico nominal, referido à emissão, de 7040 kJ/kWh, sendo a sua eficiência de conversão energética de 51,14%.

2. Sistema de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares

2.1. Circuitos de Arrefecimento

Devido à atual preocupação com o consumo racional de energia e com o impacte ambiental dos equipamentos quanto à climatização e refrigeração, tornou-se clara a necessidade de encontrar alternativas viáveis que fossem no sentido de minimizar esses consumos e impactes. Em muitos dos processos industriais, um grande volume de água é aquecido, existindo a necessidade de remover uma grande quantidade de calor para que os processos ocorram eficientemente (Sampaio, 2010).

Existem três tipos de circuitos de arrefecimento: o circuito de uma só passagem, onde a água captada passa pelo(s) equipamento(s) a arrefecer e é descarregada; o circuito fechado, onde recircula um volume fixo de água num anel; e o circuito aberto, onde a água é recirculada através de uma torre de arrefecimento e é arrefecida por evaporação (Teixeira et al, 1997). As torres de arrefecimento têm como objetivo a refrigeração da água do processo ou de permuta de calor de forma a esta ser reutilizada ou descarregada em meios naturais. Elas são uma boa alternativa, em comparação aos outros circuitos e equipamentos com funções semelhantes mas com consumos muito mais elevados, encontrando-se por vezes sobredimensionados para as funções requeridas (Pacheco, 2008).

2.1.1. Torre de Arrefecimento

Uma torre de arrefecimento é um equipamento que permite refrigerar o fluido de arrefecimento (água), por transferência de calor com o ar (através do contacto direto entre a água quente e o ar frio). O fluido utilizado numa torre de arrefecimento é a água, uma vez que esta é de baixo custo económico, abundante, facilmente disponível e de fácil manuseamento, possuindo também um calor específico elevado (calor necessário para subir a temperatura 1 K), um calor latente de vaporização – necessário para mudar de fase – também elevado e sendo praticamente incompressível nas condições de utilização (Stanford, 2003).

Estas torres podem agrupar-se em diversos tipos, de acordo com o princípio de funcionamento. Estas podem ser de tiragem natural

Figura 8) ou mecânica (Figura 9), caso o escoamento do ar nas torres seja natural ou forçado (por um ou mais ventiladores), respetivamente (Teixeira et al, 1997).

O sistema de arrefecimento com torres de arrefecimento pode ainda ser caraterizado pelo ponto de vista da circulação relativa entre os caudais de água e de ar. Esta circulação pode ser em contracorrente, onde os fluxos de água e ar circulam paralelamente (na vertical) em sentidos opostos –

a água no sentido descendente e o ar no sentido ascendente –, ou pode ser em fluxo cruzando, onde os fluxos de água e ar são perpendiculares entre si, caindo a água verticalmente (Teixeira et al, 1997).

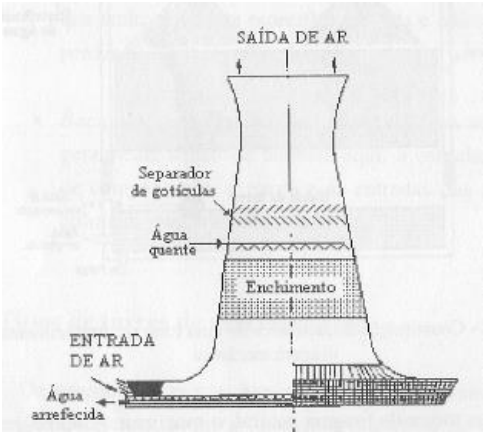

Figura 8. Torre de arrefecimento com tiragem natural (Teixeira et al, 1997).

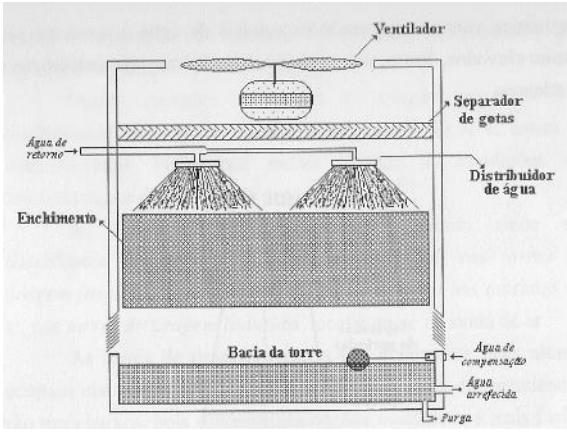

Figura 9. Torre de arrefecimento com tiragem mecânica (Teixeira et al, 1997).

Devido à necessidade da introdução do ar, as torres que utilizam a tiragem natural compõem-se por grandes chaminés de betão. Para levar a cabo tal função, o tamanho destas terá de ser substancial, podendo chegar aos 152 m de altura e 122 m do diâmetro da base. Daqui se percebe que elas são utilizadas, em geral, para caudais de água acima dos 757 m^3/min; sendo pois utilizadas em centrais térmicas que precisam de um enorme volume de água arrefecida (Haslego, 2010). Neste tipo de torres com circulação água-ar em contracorrente, é a diferença dos pesos específicos entre a mistura de ar que sai do enchimento e o ar exterior (sendo este mais quente) que origina que a circulação de ar dentro da torre ocorra por convecção natural. Este tipo de torres tem como vantagens um elevado rendimento térmico e um ruído reduzido. No entanto, geralmente têm, como já apontado, uma altura muito elevada, formam nevoeiro à saída da torre, podendo originar uma maior alteração na atmosfera local, nomeadamente nas alterações climáticas locais e têm de suportar excessivas forças do vento (Stanford, 2003).

Para torres de arrefecimento de tiragem natural em corrente cruzada, o enchimento é montado em anel em torno da sua base e o ar circula em corrente cruzada. Este tem uma limpeza mais fácil, uma vez que o enchimento e os distribuidores de água estão mais acessíveis, porém o rendimento térmico é inferior devido à natureza da operação ser em corrente cruzada (Lestina & Serth, 2014).

Quando a tiragem do ar é mecânica, esta pode ser efetuada com ventiladores de insuflação (onde os ventiladores se encontram na entrada do ar atmosférico na torre, na base da mesma) ou de extração (onde os ventiladores se encontram no local de saída do ar atmosférico da torre, no topo da mesma). As torres deste tipo possuem grandes ventiladores para forçar (por insuflação ou extração) a passagem

de ar pela água quente. A água cai sobre o enchimento para aumentar o tempo de contacto entre a água e o ar, maximizando, desta forma, o calor transferido entre os dois fluidos. O tipo de torres de arrefecimento de tiragem mecânica é utilizado mais frequentemente (Teixeira et al, 1997).

Para torres de tiragem mecânica com insuflação forçada de ar em contracorrente (Figura 10), o ar entra na torre através de um ou mais ventiladores e passa pelo enchimento até ao local onde a água é pulverizada. A água circulante atravessa o equipamento, em contacto com o caudal de ar que circula em contracorrente, e é armazenada (depois de arrefecida) no reservatório de água fria localizado na base da torre (bacia de arrefecimento). De forma a evitar a perda de água e desperdício de produtos químicos, existe o separador de gotículas que tem a forma de uma rede metálica e está colocada acima dos distribuidores de água. A mistura de ar aquecido abandona a torre pelo topo. As torres deste tipo têm um bom rendimento termodinâmico devido ao seu escoamento em contracorrente; quanto à velocidade do ar, ela é relativamente elevada, fazendo com que haja uma menor tendência para a formação de nevoeiro nas dependências das torres. A manutenção, neste tipo de torres, também é mais fácil. Todavia salienta-se a necessidade de uma elevada potência para o funcionamento do(s) ventilador(es) existindo também ruído gerado pelo(s) mesmo(s) (Stanford, 2003).

Figura 10. Torre de tiragem mecânica por insuflação.

No caso de serem o mesmo tipo de torres (em contracorrente), mas com extração forçada de ar, temos o ventilador colocado à saída da torre, sendo por eles que o ar é extraído. Estas também têm um bom rendimento termodinâmico devido ao seu escoamento em contracorrente, uma vez que a distribuição do ar é melhorada. Contudo existem também alguns factos menos vantajosos: o ventilador trabalha com uma mistura de ar e vapor de água a uma temperatura morna, não existindo uma eficiência

aproximada do ótimo; e a estrutura tem de ser maior e de suportar o ventilador, tornando este menos acessível (Sampaio, 2010).

Para torres de arrefecimento com tiragem mecânica de extração forçada de ar, com corrente cruzada, o ar circula através do enchimento, de forma perpendicular, relativamente à água que está a escoar na vertical descendente por ação gravítica. Estas torres têm uma altura menor, o que pode ser uma vantagem em termos de espaço físico a ocupar. Em contrapartida levam a um rendimento mais reduzido devido ao facto da circulação dos fluidos ser em corrente cruzada, comparativamente às torres de contracorrente, não assegurando também uma boa distribuição da água pelo enchimento, tendo em conta a complexa configuração do escoamento (Facão, 1999).

Quanto ao funcionamento das torres de arrefecimento, este tem uma operação relativamente simples. A água quente entra pelo topo da torre, sendo dividida em gotículas, onde é pulverizada e cai por ação da gravidade para o fundo da torre. Em algumas torres, a água é aspergida em gotas no topo da torre, de modo a aumentar a área de contacto entre o ar e a água. Noutros casos a água passa por favos, sendo dividida em muitos fios de água, tendo como objetivo também o aumento da área de contacto entre o ar e a água (Stanford, 2003). Ao mesmo tempo o ar atmosférico é introduzido na torre com o objetivo de promover a evaporação. Este fenómeno dá-se devido à circulação de ar (gás) sobre uma película de água (líquido) permitindo que as moléculas de água presentes na camada limite mudem de fase, passando de estado líquido a gasoso (vapor de água), sendo a energia associada à mudança de fase o calor latente de vaporização do líquido. Isto ocorre quando as moléculas do líquido, próximas da superfície, sofrem colisões que aumentam a sua energia acima da necessária para sobrepor a energia de ligação das moléculas. Esta é proveniente da energia interna do líquido (que não evapora) que, por sua vez, arrefece ao ceder a energia (CoolAir International, 2014). À medida que os dois fluidos interagem, uma pequena fração do caudal de água evapora e mistura-se com o ar (aumentando a humidade relativa deste) (Teixeira et al, 1997). Quanto maior for a superfície de área da água exposta à maior quantidade possível de caudal de ar (durante o máximo período de tempo possível) mais eficiente é a evaporação da água e, consequentemente, maior é a taxa de arrefecimento da água (Bergman et al, 2011).

A temperatura da água nas torres de arrefecimento está numa gama entre os 29 °C e os 35 °C, podendo nalguns casos ir acima dos 49 °C e noutros abaixo dos 21 °C, dependendo das condições ambientais, do sistema de carga térmica e da estratégia de operação (ASHRAE Standard Committee, 2000).

Para compensar a fração de água que evapora para o ar atmosférico, é adicionada, ao reservatório de água fria, uma quantidade igual de água perdida (água de evaporação e da purga). Assim, segundo documentos da Central, consegue-se que o fluido que entra na torre a 30 °C seja devolvido ao circuito de refrigeração a 21 °C.

Como se percebe da descrição simples do processo de uma torre de arrefecimento, o desempenho deste equipamento está diretamente relacionado com o projeto de distribuição do sistema de água quente, assim como com a quantidade de ar que circula através da torre e que entra em contacto com a água. No que respeita ao projeto de distribuição do sistema de água quente, quando se seleciona este sistema, a primeira consideração a ter em conta é a altura de elevação necessária para mover a água através do sistema de distribuição e sobre o enchimento. A torre em contracorrente utiliza um sistema de distribuição de água quente com bombas de alta pressão para conseguir que a água atinja o enchimento. As alterações no caudal de água vão afetar e alterar a pressão nas bombas (Lestina & Serth, 2014).

A quantidade de ar que circula através da torre na configuração em contracorrente, juntamente com o reduzido tamanho das gotas de água provenientes dos injetores, permitem que estas tenham uma utilização mais eficiente do ar disponível. No entanto, a resistência ascendente do ar através da água que cai, por gravidade, resulta numa perda mais elevada de pressão estática e de uma necessidade mais elevada da potência do ventilador. As torres de corrente cruzada reduzem a velocidade de entrada do ar e minimizam a recirculação da água (Lestina & Serth, 2014).

A manutenção é um assunto que releva de forma crucial nas torres de arrefecimento, devendo sempre verificar-se as condições de limpeza necessárias que impeçam o seu mau funcionamento e de forma a não prejudicarem a saúde humana. A bacia da torre deverá ser submetida a processos de limpeza quando se observa (quer por amostras quer por inspeção visual) qualquer vestígio de poeira, matéria orgânica, ou outros detritos. Para auxiliar as funções de limpeza podem ser instalados filtros mecânicos para reduzir a presença destes materiais (Teixeira et al, 1997).

O enchimento deve ser de fácil manuseamento e não deve sofrer danos facilmente. O reservatório de água fria deve ser polido e de fácil limpeza. Quanto aos separadores de gotas, é recomendável a sua inspeção regular bem como a sua limpeza, se necessário, ou até substituição se estiverem danificados (Stanford, 2003).

Ao contrário das torres em contracorrente, as torres em corrente cruzada têm como vantagens uma maior facilidade de operação, acesso e manutenção, pois são mais espaçosas, têm uma altura que

permite um fácil acesso aos componentes internos da torre de arrefecimento e o sistema de distribuição de água é mais acessível à limpeza enquanto estiverem a operar.

As torres de arrefecimento e/ou o seu ponto de descarga (no caso deste ser conduzido por tubagens para um sítio mais afastado da torre) devem estar posicionadas o mais afastado possível de entradas de ar dos edifícios e passeios públicos, devido à pluma formada pelo ar que abandona a torre. Por outro lado, na localização para a construção das torres de arrefecimento deverá ter-se em conta o fácil acesso à torre para efeitos de manutenção, tendo-se também em atenção possíveis futuras construções, incluindo terrenos vizinhos (Stanford, 2003).

No que respeita à saúde pública, devido às condições existentes nas torres de arrefecimento, e se não forem tomadas precauções adequadas, podem-se desenvolver bactérias como a *Legionella* causadora de doenças, sendo o caso mais relatado a pneumonia dos legionários. Manter o sistema limpo reduz a quantidade de nutrientes disponíveis para o crescimento do microrganismo (ASHRAE Standard Committee, 2000).

2.1.2. Tratamento e controlo da água de arrefecimento

O tratamento da água de arrefecimento tem um papel importante na minimização dos problemas de todo o sistema da torre de arrefecimento. O tratamento visa a minimização dos problemas no sistema de arrefecimento, seja o uso mais eficiente possível da água, seja fazer com que o crescimento microbiológico, a formação de incrustações, o fenómeno da corrosão e da deposição de substâncias sólidas (orgânicas ou inorgânicas) em superfícies, onde ocorre transferência de calor, seja o mínimo. Um tratamento de água eficaz permitirá operações mais eficientes pela existência de menores sujamentos; um tempo de vida maior do sistema resultante de uma diminuição da corrosão; e ainda operações mais seguras devido às hipóteses reduzidas da exposição da população aos microrganismos (EnduroSolv, 2014).

Todas as características químicas que compõem a água de arrefecimento (dureza; alcalinidade; concentração de sais dissolvidos, de cloretos, de oxigénio; pH; temperatura; etc.) ajustam decisivamente as condições de ocorrência de sujamento e a ocorrência do fenómeno corrosivo nas superfícies metálicas e, consequentemente, os métodos de tratamento da água de arrefecimento (Teixeira et al, 1997).

Quanto aos efeitos dos fenómenos de corrosão e sujamento podem ser controlados de diversas formas:

- Um desenho correto de toda a instalação, nomeadamente no que se refere às condições hidráulicas;
- Instalação de unidades de tratamento físico-químico da água de arrefecimento;
- Aproveitamento das espécies contidas na água e desenvolvimento de meios de proteção com as mesmas;
- Remoção das espécies que contribuem para o aparecimento destes problemas;
- Tratamento da água de arrefecimento com reagentes químicos.

O tratamento da água de arrefecimento iniciar-se-á com a criação de condições que permitam a formação de películas protetoras de carbonato de cálcio. Claro está que este processo ocorre com a correção química da água – estabilização da água. Esta técnica baseia-se no conhecimento e na correção do índice de saturação (de Langelier, por exemplo). Quanto à velocidade da água no sistema, é de preferir que esta seja superior a 0,8 m/s, de forma à não existência de zonas estagnadas no sistema de arrefecimento (Teixeira et al, 1997).

Devido ao seu elevado custo, a remoção das espécies agressivas não é realizada com frequência. Posto isto, a instalação de unidades de tratamento físico-químico da água torna-se fulcral. No seguimento, será percetível que o uso de inibidores de corrosão e sujamento seja o que mais comummente se verifique, dependendo a sua seleção de um conjunto de fatores que vão desde o **tipo de circuito**, sendo que os custos de tratamento e a gravidade dos problemas dependem do circuito em causa; passando pela **natureza dos metais** a proteger, uma vez que para metais diferentes o grau de proteção de um dado inibidor será diferente, daí ser importante o conhecimento da metalurgia do sistema na definição do tratamento químico; continuando na **natureza da superfície metálica**, pois uma superfície metálica lisa e limpa protege-se muito mais facilmente, implicando menores consumos de inibidores. Superfícies rugosas facilitam o sujamento, o processo corrosivo e, por conseguinte, levam a um maior consumo de inibidores. Não se pode esquecer a **natureza do meio e da sua composição** onde os produtos a usar têm de ser compatíveis entre si. Deve dar-se importância ao **pH da água**, pelo que já se referiu, reconhece-se a importância do pH da água na seleção do método e dos produtos a aplicar para o tratamento. Também se deve dar atenção ao **arejamento e movimento do fluido**, uma vez que a formação das películas passivas depende, entre outros aspetos, do acesso do oxigénio ao cátodo, da formação de biofilmes ou de outros depósitos e que, por sua vez, dependem fortemente das condições de arejamento e movimento do fluido. Por fim, não esquecer a **toxicidade dos aditivos e normas de descarga de águas residuais**, pois a seleção de inibidores para circuitos de arrefecimento tem vindo a estar, nos últimos anos, cada vez mais condicionada pelas restrições introduzidas, pela opinião pública,

por organizações não-governamentais (ONG) e pelas autoridades sanitárias e ambientais, ao uso de substâncias que afetem a saúde pública e o domínio público hídrico (Teixeira et al, 1997).

O tipo de circuito de arrefecimento em causa é um circuito aberto, sendo que estes compreendem uma constituição e uma forma de operar muito própria, exigindo um estudo sistemático da questão, não só no que respeita à composição química da água de compensação, como também das variáveis de operação e da metalurgia do sistema.

Conhecida a composição da água de compensação, fixa-se o número de concentrações, dependente de uma série de fatores, incluindo a própria composição da água disponível e o tipo de tratamento que se vai adotar. A compensação da água deverá ser reduzida, assim como as descargas, tanto quanto possível para que sejam evitadas variações nas características da água de arrefecimento necessárias ao funcionamento de uma torre de arrefecimento. Para isto, pode-se operar uma série de "cuidados" correspondentes a tratamentos prévios ao nível químico. No entanto, e devido à natureza economicamente elevada, tal deve ser pensado em cada caso concreto, observadas as características físico-químicas da água antes de efetuar tal tratamento, sob pena de serem adjudicadas verbas desnecessárias nesta operação. Note-se que nos circuitos de recirculação abertos, suportam-se temperaturas mais elevadas e requer-se um bom controlo do circuito, pois devido à sua natureza existe uma propensão para a concentração de sólidos (Teixeira et al, 1997).

Nas torres de arrefecimento o arrefecimento é promovido por evaporação. O fenómeno de evaporação da água (sendo esta só e apenas água pura) na torre retira calor à água que fica no sistema, arrefecendo-a. Isto origina a concentração de sólidos dissolvidos na água de arrefecimento (CoolAir International, 2014). Daqui se retira que quanto maior for o número de concentrações menor será o consumo de água. Relativamente a este ponto ter-se-ão em consideração alguns limites no que respeita às solubilidades do carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e sílica. O número de concentrações influencia a eficácia de alguns produtos, tal como acontece, a título de exemplo, com os microbicidas. Posto isto, a força iónica da água de arrefecimento será maior quanto maior for a concentração de sais dissolvidos, influindo diretamente nos problemas de corrosão e sujamento. É pelo exposto iminente a necessidade de evitar que a concentração dos sólidos em solução se torne tão alta que provoque problemas no sistema, assim como se pretende manter e, se possível, reduzir os custos operativos (Teixeira et al, 1997).

Com vista à redução dos problemas acima mencionados relativos à corrosão e incrustação, realiza-se atualmente um tratamento, conhecido por "tratamento alcalino", sendo que a formação de incrustações é impedida pela adição de inibidores de sujamento.

O parâmetro relativo à dureza da água torna-se essencial para o tratamento levado a cabo na água de arrefecimento do circuito de recirculação aberto, posto que águas com diferentes durezas precisarão também de diferentes tratamentos. Nas águas duras – durezas (como $CaCO_3$) superiores a 150 mg/L – utilizam-se fosfatos, fosfonatos ou polifosfatos, como inibidores de corrosão. Os fosfonatos e polifosfatos são também inibidores de sujamento. Isto acontece para prevenir o sujamento, pois nestas águas há um elevado risco de precipitação de carbonato de cálcio, usando-se, para isso, dosagens elevadas de dispersantes. Já no tocante às águas macias, a concentração crítica de um inibidor de corrosão é mais elevada do que em águas duras. A inclusão de um inibidor de sujamento é também imperativa apesar de em dosagens inferiores às águas duras (Teixeira et al, 1997).

No entanto, ao programa de tratamento deverá ser feita a adição de biocidas, por forma a evitar o crescimento e desenvolvimento de microrganismos e eliminar aqueles que já lá se encontram. Esta adição deve ser regular (eventualmente em contínuo) de um biocida oxidante como o cloro e derivados, ozono e/ou bromo, suplementada com a aplicação (semanal, quinzenal ou mensal) de um biocida orgânico em doses elevadas (100 mg/L a 300 mg/L) (Teixeira et al, 1997). Uma nota para dizer que operando numa zona alcalina, agravam-se os problemas respeitantes ao sujamento biológico, reduzindo-se também a eficácia dos biocidas. Existe assim a necessidade de ter este aspeto em consideração para proceder à escolha bem como à dosagem do biocida a aplicar. Outra nota relevante diz respeito à prática da purga: será necessário que as dosagens aplicadas não interfiram nos processos biológicos de tratamento das águas residuais.

No mercado podem encontrar-se muitas soluções para levar a cabo os tratamentos de águas de arrefecimento. Atualmente, as próprias companhias, que fornecem os produtos para o efeito, oferecem muitas vezes um serviço complementar de apoio, garantindo uma eficiente operação do tratamento. A empresa que forneça este serviço deverá sempre fazer chegar a formulação que usa (Teixeira et al, 1997).

Importante também é ter em conta que o tratamento da água de arrefecimento deve obedecer a uma estratégia para que possibilite o seu controlo. Esta estratégia deverá ter em conta o que é possível e necessário controlar, alienando tudo o resto, tornando assim o controlo eficaz e com custos mais reduzidos.

Com a estratégia de tratamento evitar-se-ão os exageros no controlo químico da água de arrefecimento, controlando-se os parâmetros passíveis de controlo e que detenham uma importância real no sistema. É ao técnico de tratamento que cabe esta função, bem como a de estabelecer a periodicidade da amostragem.

A dificuldade do controlo nas torres de arrefecimento é maior uma vez que correspondem a circuitos de recirculação abertos, existindo, claro está, a evaporação da água concentrando assim os sais introduzidos no circuito pela água de compensação. Neste sistema dinâmico, será assim muito relevante (apesar de complexo) a "monitorização cuidadosa e em controlo perfeito do doseamento dos reagentes e da qualidade da água de arrefecimento" (Teixeira et al, 1997).

Apenas por medição se poderão detetar variações na carga térmica e na qualidade da água de compensação bem como possíveis contaminações oriundas do processo ou mesmo do ar. Saliente-se que águas de compensação recuperadas, com menor qualidade, requerem um controlo mais apertado.

Atualmente, os custos associados à medição estão muito reduzidos face ao passado, uma vez que os equipamentos (e os produtos químicos) outrora altamente dispendiosos são agora de custo muito razoável. É, por isso, bastante vulgar a medição em linha que tem em conta parâmetros essenciais associadas ao controlo automático.

O mercado tem hoje sistemas de controlo centralizados em microprocessadores que recebem sinais de unidades de medida em linha (medidor de pH, condutivímetro, termómetros ou outros elementos de medida da temperatura, etc.) e exercem ainda controlo sobre as variáveis a monitorizar, por exemplo o caudal debitado por bombas doseadoras de aditivos (ácidos, bases, inibidores de corrosão, hipoclorito de sódio, etc.), a abertura da válvula da purga, etc. (Teixeira et al, 1997).

2.2. Sistema de Arrefecimento do Processo Produtivo

O sistema de arrefecimento no caso específico da Central Termoelétrica de Lares corresponde a um sistema de circulação aberto de tiragem mecânica por extração, com circulação contracorrente. Neste tipo de sistemas, o componente primordial para a refrigeração da água de circulação é a torre de arrefecimento (Figura 11). No caso da Central Termoelétrica de Lares esta torre corresponde ao tipo húmido existindo a promoção da circulação do ar para obtermos o arrefecimento da água, sendo o fluido correspondente ao trabalho por ela efetuada um fluido evaporado (vapor de água). Nesta torre de arrefecimento em concreto conta-se com oito unidades de arrefecimento em cada grupo, correspondendo cada unidade a um sistema de circulação aberto com as características referidas anteriormente.

Figura 11. Torre de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares.

O circuito de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares tem como objetivo o arrefecimento da água de circulação (que atravessa o condensador e os permutadores de calor), a remoção de calor do ciclo água-vapor e o aumento da eficiência deste ciclo, aumentando assim a eficiência do processo produtivo.

A escolha deste equipamento, segundo documentos da Central, teve em conta a minimização dos impactes ambientais bem como a forma como é dissipado o calor para a atmosfera (água evaporada).

Para se conseguir apreender a importância e o funcionamento da torre de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares é necessário saber-se da sua constituição. Assim tem-se:

• Carcaça, correspondendo à estrutura envolvente de todo o equipamento. É fabricada por perfis em poliéster reforçado com fibra de vidro (FGRP). As paredes externas da torre são igualmente constituídas por FGRP e as chapas sobrepõem-se, confinando a água dentro da torre. O revestimento da torre deve ser opaco, por forma a reduzir a quantidade de luz solar que penetra na torre, uma vez que esta fomenta o crescimento de algas e a acumulação de calcário, sendo que as algas consomem CO_2, originando carbonato de cálcio. Estes fatores que são determinantes quanto ao consumo de biocidas (Cheremisinoff & Cheremisinoff, 1983). Quanto menos os fenómenos anteriormente referidos se verificarem menores serão os consumos deste produto. No caso da carcaça da torre de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares, esta tem uma cor verde e opaca;

• Chaminé, existe uma por cada unidade de arrefecimento sendo esta a estrutura que suaviza a circulação do ar dentro da torre de arrefecimento. Esta é fabricada em poliéster e tem uma altura de 5 m;

• Ventilador (Figura 12), que tem como função a circulação orientada do ar. Cada unidade da torre tem um ventilador axial com 7 pás e um diâmetro de 9,144 m. As pás são ajustáveis manualmente entre 39° e 46°. Existem equipamentos auxiliares ao funcionamento do ventilador:

– Motores dos ventiladores, sendo estes os responsáveis pela rotação das pás dos ventiladores e têm duas velocidades distintas. Eles estão localizados na plataforma superior da torre, do lado exterior da chaminé da unidade. Os motores têm velocidades de rotação de 1490/min e 992/min e potências de 200 kW e 55 kW;

– Redutores, que são responsáveis pela diminuição da velocidade dos ventiladores;

– Eixo de comando, que transmite o movimento do motor para o redutor. O modelo flutuante acomoda ligeiros desalinhamentos do eixo, que podem ser desenvolvidos em serviço, para absorver choques, vibrações e pulsações, aceitar inversão de carga, minimizar folgas, dificuldades de manutenção e de instalação. Os eixos de comando têm um diâmetro de 147,5 mm, um comprimento de 3,9 mm e capacidade nominal de 200 kW;

– Sensor de vibração, que protege o ventilador se a vibração ultrapassar os 23,6 mm/s.

• Bacias de armazenamento de água fria, com 2 m de profundidade, são constituídas por betão. Contudo, esta profundidade é ainda maior junto ao fosso de sucção da bomba que leva a água ao sistema de arrefecimento. Ela é uma estrutura que é comum a todas as unidades de arrefecimento do

mesmo grupo, sendo por isso de concluir que na Central Termoelétrica de Lares existem assim duas bacias de arrefecimento correspondendo aos dois grupos existentes;

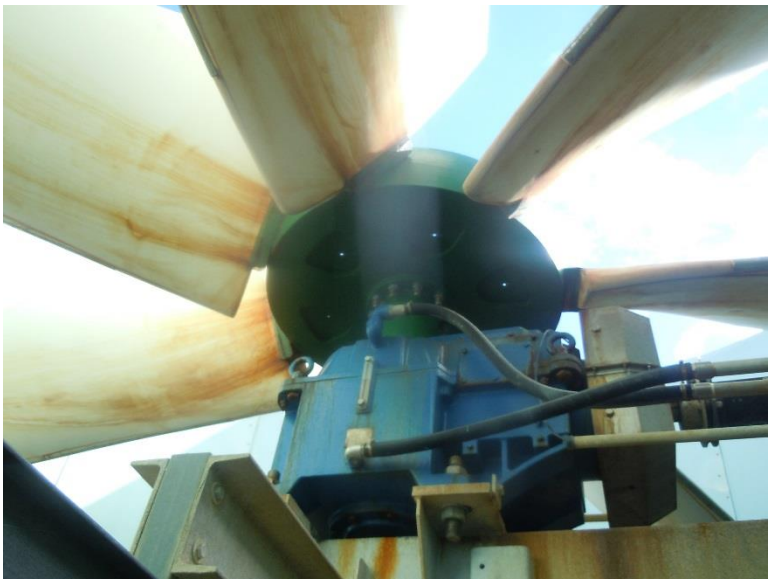

Figura 12. Ventilador de uma unidade de arrefecimento da Torre de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares.

• Sistema de distribuição é o responsável pela distribuição de água quente. Esta é feita através de um coletor em poliéster a que os ramos secundários, fabricados em PVC, se ligam. Recebendo ali a água, os ramos secundários estão também dotados com bocais (espalhadores) em polipropileno para proceder à dispersão da água. Isto é feito através de placas em PVC, onde o jato de água (sem pressão) é pulverizado. Este transforma-se em chuviscos e assegura uma distribuição uniforme da água na superfície da unidade;

• Enchimento é uma estrutura formada por chapas de PVC organizadas em módulos que cobrem toda a superfície da torre sobre o qual circula a água. Ele é o responsável pela eficiência do processo de transferência de calor. A água pulverizada é derramada em toda a superfície das chapas e o calor é transferido para o ar que circula pela torre. A altura do enchimento é de 2 m e é concebida para otimizar a transferência de calor e uma distribuição correta de ar dentro da torre de arrefecimento. O material plástico deve suportar temperaturas até 60 °C sem danos permanentes ou deformação (Plasticbages Industrial, 2014). Este depósito maximiza a transferência de calor e reduz a descida de pressão tanto quanto possível.

• Separador de gotículas, que reduz o arrastamento de gotas pela corrente gasosa, embora algumas gotículas de água (com dimensões inferiores a 5 μm) saiam para a atmosfera. São constituídas por ondas de PVC e encontram-se entre os tubos de distribuição de água e o ventilador da torre. Visto que normalmente há a utilização de químicos e pode haver a presença de bactérias, as torres com bons

separadores de gotículas têm menor probabilidade de originar a pneumonia dos legionários, comparativamente às torres que não os possuem. Estes também reduzem a quantidade de inibidores de corrosão e perdas de biocida para a atmosfera.

O princípio de funcionamento da torre bem como todo o circuito de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares (

Figura 13) são de fácil compreensão.

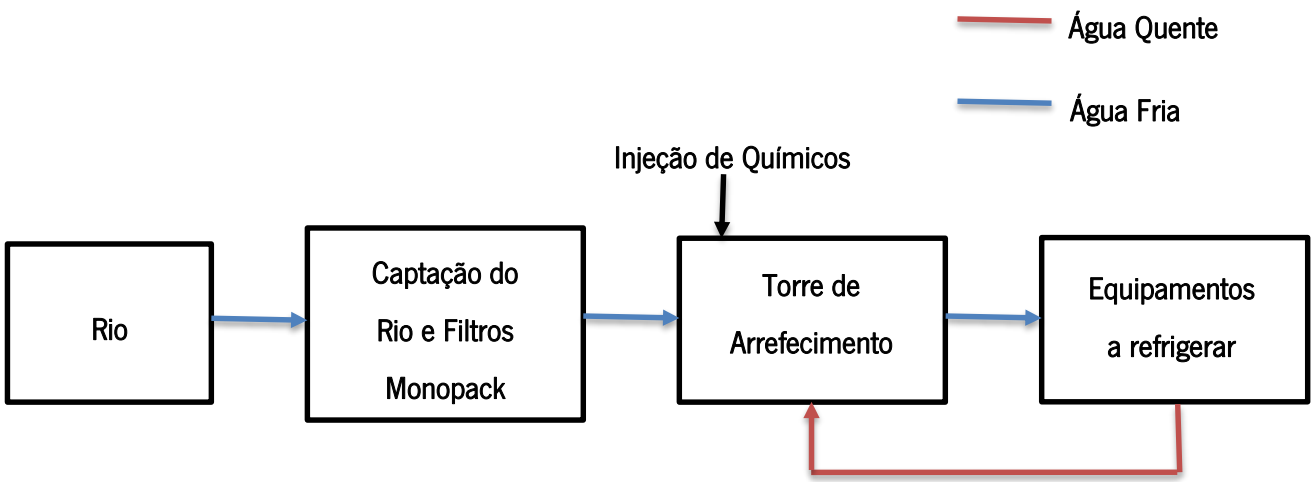

Figura 13. Circuito de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares.

Como referido anteriormente, o sistema de arrefecimento tem como objetivo refrigerar a água de circulação do processo produtivo de energia elétrica. Esta água (de circulação) passa pelo condensador, sofrendo a transformação de estado gasoso para o estado líquido, observando-se assim o fenómeno da condensação da água desmineralizada que se encontra referido no processo produtivo, sendo por este meio de novo inserida na caldeira, para ser reutilizada. A água, previamente refrigerada, passa no condensador ocorrendo aí a permuta térmica que origina a saída desta água anteriormente "fria", com uma temperatura elevada (32 °C).

A água de circulação passa também nos permutadores de calor (existindo um por cada grupo) com o intuito de realizar a permuta térmica. Posto isto, volta à torre para de novo arrefecer. Esta água quente, proveniente quer do condensador quer dos permutadores de calor, segue para a torre de arrefecimento, entrando pelo topo da mesma através de condutas verticais (*risers*) que ligam o coletor de água de circulação ao coletor de distribuição de água dentro da torre. A água espalha-se por toda a superfície das chapas do enchimento, formando uma película fina, sendo o calor transferido, por evaporação, para o ar circulante na forma ascendente no interior da torre (por ação da força mecânica exercida pelo ventilador). Esta água, por ação da gravidade, atravessa, em contracorrente, o ar atmosférico que entra pela base da torre ocorrendo a permuta térmica que é responsável pelo

arrefecimento da água de arrefecimento. O vapor de água originado pela transferência de calor anteriormente descrita passa pelas placas do separador de gotículas, localizado num plano mais alto do que o de distribuição de água, que previnem que as partículas de água sejam arrastadas pela circulação de ar, sendo apenas o vapor de água libertado para a atmosfera e não pequenas gotículas de água líquida, por forma a minimizar o consumo de água e de produtos químicos necessários ao tratamento da mesma.

Ocorre também uma purga na torre de arrefecimento. Esta tem por objetivo desconcentrar a água de arrefecimento, limitando assim as concentrações das espécies dissolvidas no sistema de arrefecimento. A água concentrada com os sólidos é encaminhada para o rio e nele faz-se a descarga da mesma.

Após a transferência de calor ocorrida na torre de refrigeração, a água fria (26 °C) é armazenada nas bacias de armazenamento de água fria existindo um reencaminhamento para os locais a refrigerar, repetindo-se assim todo o processo. As principais vantagens do tipo de torre de arrefecimento existente na Central Termoelétrica de Lares são a elevada eficiência devida ao seu funcionamento em contracorrente e a sua facilidade de manutenção. Quanto às desvantagens encontram-se entre as principais o elevado consumo de energia por parte dos ventiladores e de todas as bombas associadas ao sistema, e ainda o ruído gerado pelos ventiladores.

O calor contido na água de arrefecimento, 80% deste é transferido para a atmosfera, através do vapor de água gerado pelos fenómenos acima descritos. Verifica-se pois, que existem ações geradoras de perda de água num valor considerável, existindo por isso a necessidade da reposição do volume de água perdido para que o arrefecimento do processo exista. Assim, para que seja compensado o volume de água perdido, capta-se água do rio Mondego.

Note-se que, devido à evaporação que origina o arrefecimento do sistema, segundo dados da Central, cerca de 20% de água pura da água de compensação (água pura) é perdida para o meio ambiente. Assim, a água de arrefecimento concentra até um máximo de 20%.

2.3. Água de compensação

A água que é perdida durante o funcionamento do circuito de arrefecimento tem de ser reposta para que ele funcione de forma eficaz. Para compensar o volume que se perdeu, utilizado para refrigeração do condensador e dos permutadores de calor, capta-se água do rio Mondego e esta segue para a bacia de captação da água do rio.

Tendo em conta a localização da Central Termoelétrica de Lares (Figura 14) e de onde se efetua a captação da água de compensação (perto do estuário do Mondego), estando esta zona de captação muito próxima da foz do rio Mondego, ela é afetada pelo fenómeno das marés que ocorrem no Oceano Atlântico.

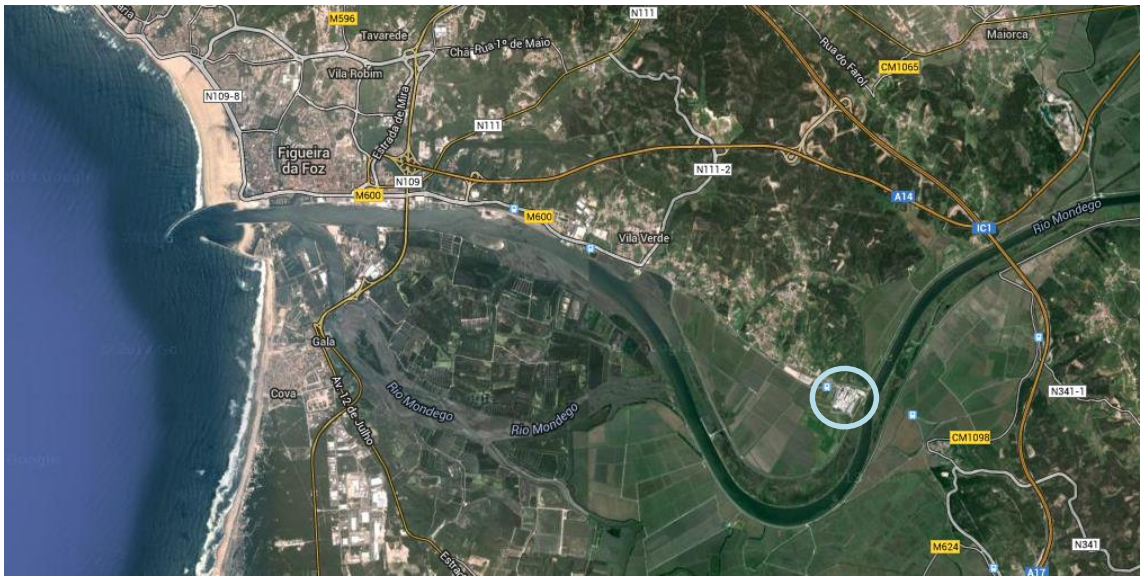

Figura 14. Localização geográfica da Central Termoelétrica de Lares.

2.3.1. Marés

As marés ocorrem devido à atração gravitacional que o Sol e a Lua exercem no planeta Terra. As influências dos dois primeiros astros referidos não concorrem de igual forma para o fenómeno referido: apesar da massa do Sol ser bastante maior, a força exercida pela Lua é muito superior, devido à sua menor distância da Terra, do que o Sol. Matematicamente, a uma maré corresponde uma soma de sinusóides (ondas constituintes) cuja periodicidade conhecida depende exclusivamente de fatores astronómicos. Pode dizer-se, grosso modo, que a maré sobe aquando das passagens meridianas superior e inferior da Lua: tem-se preia-mares (maré cheia) quando a Lua passa pelos nossos antípodas;

e tem-se baixa-mares (maré baixa) quando a água do mar atinge a sua altura mais baixa no ciclo das marés.

As preia-mares sucedem-se, regularmente, com um intervalo médio de meio-dia lunar (aproximadamente 12 h e 25 min), já o intervalo de tempo entre uma preia-mar e uma baixa-mar seguinte é, em média, 6 h e 13 min. Contudo, o mar não tem uma reação instantânea à passagem da Lua, existindo por isso e para cada local, um atraso maior ou menor das preia-mares e baixa-mares.

Também o fenómeno quinzenal da alternância entre marés vivas e marés mortas é deveras relevante. Este fenómeno tem existência devido ao efeito exercido pelo Sol: quando o Sol e a Lua estão em oposição (Lua cheia) ou conjunção (Lua nova), a influência do Sol reforça a da Lua e ocorrem as marés vivas. Mas quando o Sol e a Lua estão em quadratura (Quarto crescente e Quarto minguante), a influência do Sol contraria a da Lua dando origem às marés mortas.

Por via de regra, as amplitudes de marés vivas em Portugal Continental são de cerca de 1,5 m. Assim, o mar sobe e desce 1,5 m em relação ao nível médio. Em marés mortas, a amplitude da maré é da ordem dos 70 cm.

Parafraseando o acima exposto, os oceanos não têm uma reação instantânea às influências astronómicas havendo aqui também, para cada local, um atraso de resposta. Esse atraso denomina-se de idade da Maré. Geralmente, pode dizer-se que a maré viva ocorre no dia seguinte à Lua Nova ou Lua Cheia.

Finalizando, é de referir que para o nível da água do mar concorrem ainda outros fatores que não a maré astronómica, tais como a pressão atmosférica, os ventos e a agitação marítima. A pressão atmosférica é o mais importante dos fatores não astronómicos que influenciam a subida e descida do nível do mar, sendo que as baixas pressões produzem um aumento do nível das águas e, inversamente, as altas pressões estão associadas a uma descida do nível do mar (Instituto Hidrográfico, 2014).

Resultando do fenómeno das marés, sendo que em maré alta a água salgada eleva-se e mistura-se com a água do rio, existem regimes hidrodinâmicos peculiares e que se revelam muito vulneráveis a fatores de *stress* ambiental que podem pôr em causa o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. A essa zona, dá-se o nome de estuário (Duarte & Vieira, 2010).

O estuário do rio Mondego (Figura 14) localiza-se na zona costeira da região centro de Portugal Continental, mais precisamente no concelho da Figueira da Foz. Este apresenta uma área de cerca de 1200 ha e reveste-se de um elevado interesse ecológico, devido, entre outros fatores, à sua elevada biodiversidade (Duarte et al, 2008). Nos últimos 7,5 km do seu trajeto bifurca-se em dois braços (norte

e sul) que voltam a confluir antes de atingir a foz, individualizando a ilha da Murraceira (Cunha et al, 1995).

Uma vez que a Central Termoelétrica de Lares se encontra próxima do Oceano Atlântico e a água de compensação utilizada para o arrefecimento do processo produtivo de energia elétrica é captada de um ponto do rio junto à foz, esse facto faz com que esta água seja influenciada pelo regime de marés e pela ondulação, tendo assim uma clara relevância os acontecimentos marinhos (Cunha et al, 1997).

Na dinâmica das águas estuarinas concorrem processos físicos associados que são dotados de uma influência significativa na variação tanto da qualidade química como do estado ecológico das mesmas. No entanto, o crescendo das atividades antropogénicas – sendo estas geradoras de um excesso de nutrientes posteriormente colocados nos sistemas hídricos recetores – poderá levar à eutrofização desses meios hídricos. Este é um problema atual e reconhecido consensualmente à escala mundial, que, em situações extremadas, "podem conduzir à ocorrência de ambientes anóxicos e à proliferação de cianobactérias, que, ao libertarem substâncias de elevada toxicidade, colocam em risco a biodiversidade do ecossistema e a utilização desse meio hídrico como origem de água para abastecimento" (Duarte & Vieira, 2010).

Os estuários são compostos por duas massas de água com características diferentes, uma vez que uma delas é oriunda do mar e a outra do rio: a salinidade numa das massas de água é máxima e na outra é nula ou muito baixa, respetivamente. Além desta característica distintiva, tem-se ainda que as massas de água se movimentam de forma diferente: enquanto a água salobra (água oceânica) se move devido à influência dos fenómenos astronómicos (Sol, Lua entre outros) e ainda devido à pressão atmosférica, vento, entre outras causas, a água doce move-se devido à transformação da energia potencial em energia cinética – move-se devido à ação da gravidade (Peixoto, 2012).

2.3.2. Qualidade da água de compensação

Tendo por base o acima referido, verificou-se quais as características da água de compensação para perceber qual o tipo de água que é utilizada para compensação do sistema.

Os resultados relativos à relação entre a condutividade e os *STD* encontram-se na Figura 15.

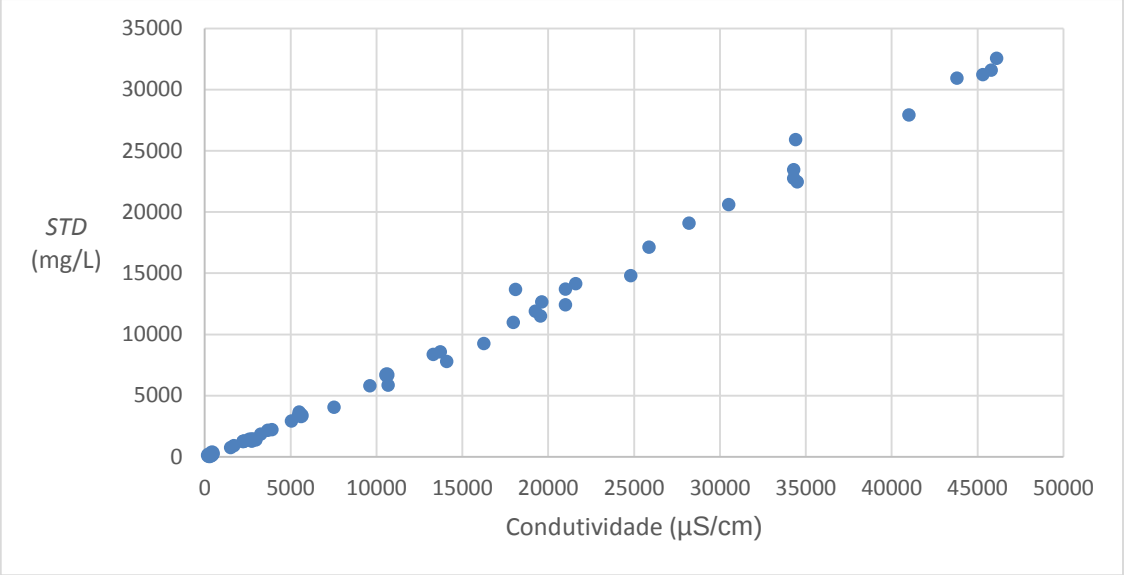

Figura 15. Relação entre condutividade e *STD*.

Pela análise da Figura 15, os resultados obtidos demonstraram que quanto maior a condutividade da amostra maior será a concentração de sólidos dissolvidos na mesma. Isto pode ser explicado pelo facto da água salgada ter uma elevada concentração de sais ao contrário da água doce e, por isso, à medida que a maré vai subindo, a quantidade de sais dissolvidos na amostra, aumenta; e certamente se afere que quando não há presença de água marinha na amostra, praticamente não existem sólidos dissolvidos na água (Fondriest Environmental, Inc., 2014).

No que respeita à relação entre a condutividade e a temperatura, os valores estão representados na Figura 16.

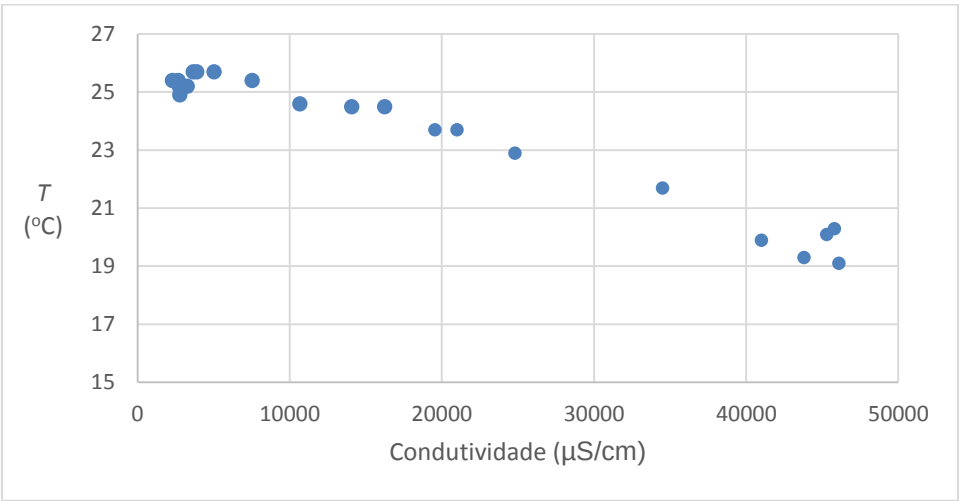

Figura 16. Relação entre condutividade e temperatura.

Como se pode verificar na Figura 16 a temperatura diminui à medida que a condutividade vai aumentando. O conjunto de dados apresentados foi recolhido ao longo de um dia. Esta tendência pode

ser explicada pelas diferentes temperaturas a que normalmente a água doce e a água salgada se encontram. A temperatura média da água salgada é mais baixa do que a temperatura média da água doce estuarina (Science Learning, 2010). Daí compreende-se que quanto mais água do mar existir na amostra, maior a condutividade, logo menor será o valor da temperatura. Note-se que todos os valores de temperatura das amostras utilizadas para este estudo se encontram entre 19 °C e 26 °C, sendo a temperatura mínima obtida com o valor máximo de condutividade (praticamente só água salgada) e sendo esta coerente com o valor da temperatura da água do mar no dia em que se decorreu este registo – 14 de julho de 2013 (Instituto Hidrográfico, 2014). Já a temperatura máxima foi obtida com um valor de condutividade bastante reduzido (praticamente água doce). À medida que o contributo da maré vai aumentando, a temperatura da água no estuário é afetada por esta, tendo a temperatura estuarina na primavera e no verão o comportamento obtido nos resultados desta dissertação (Elliott, 1990).

Analisou-se a dureza total e cálcica da água com a intenção de perceber o seu comportamento ao longo da subida da maré (Figura 17). Ambas as durezas estão expressas em $CaCO_3$.

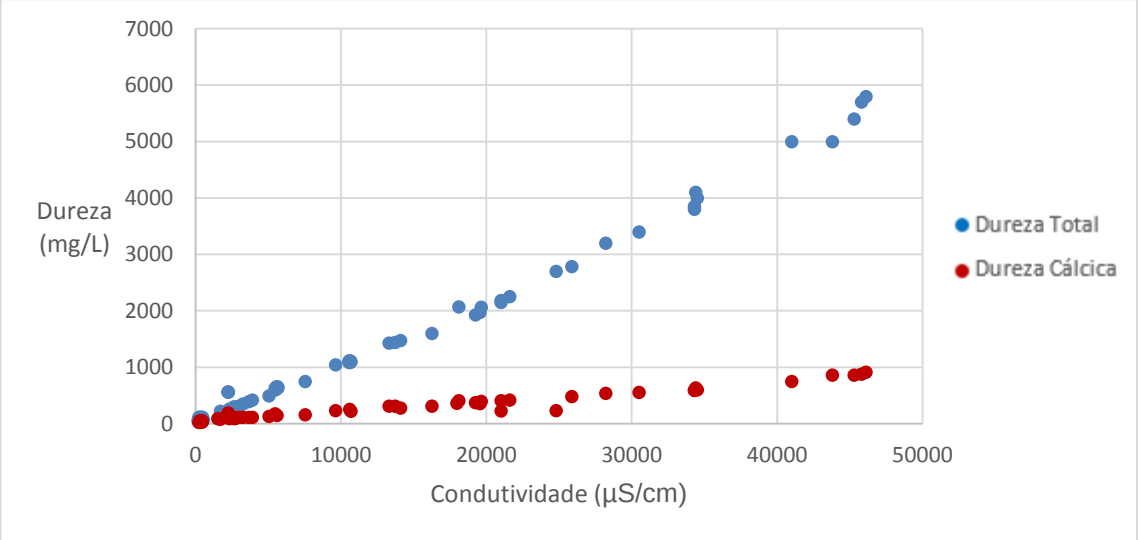

Figura 17. Relação entre condutividade e durezas (total e cálcica).

Quando se observa a relação entre as durezas (total e cálcica) com a condutividade a relação estabelecida é diretamente proporcional em ambas as durezas analisadas, uma vez que quando a condutividade aumenta a dureza total e a cálcica da água também aumentam. Isto pode ser explicado pelo facto de, na água salgada sob forma iónica, existirem os metais alcalino-terrosos dissolvidos, nomeadamente cálcio e magnésio. Estes iões são os responsáveis pelo aumento da dureza total de uma água uma vez que há a fusão de ambas as águas (doce e salgada) e a água de compensação é, assim, variável. Sendo a dureza total representante da soma das concentrações de cálcio e magnésio presentes,

esta é maior do que a dureza cálcica, uma vez que esta apenas representa a concentração de cálcio existente na água. No que respeita à diferença de declive (taxa de aumento) entre as durezas (sendo que a dureza total tem um declive maior do que a cálcica) isto pode advir da água do mar ser a grande responsável pela variação e heterogeneidade da água de captação (resultante da constante alteração das marés) e ter, na sua composição, uma concentração de magnésio cerca de três vezes maior do que a concentração de cálcio (1,30 g/L e 0,41 g/L, respetivamente), como se pode verificar na Tabela 7 (Anexo C). Portanto é de esperar que quando a maré se eleve e, consequentemente se misture com a água do rio, esta tenha uma dureza total bastante superior à dureza cálcica, sendo esta última apenas representativa do cálcio existente na amostra. Note-se que quando a condutividade é bastante reduzida, contendo a amostra uma grande concentração de água doce, a taxa de aumento não é tão visível, uma vez que ainda não há praticamente água do mar. Também na análise deste parâmetro os resultados obtidos na bacia de captação são conformes com os resultados obtidos nas análises com água natural uma vez que o único produto químico a injetar na bacia de captação é o hipoclorito de sódio e este não tem na sua constituição os elementos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) que afetam o parâmetro analisado (Brito et al, 2010).

Na Figura 18 está relacionado o pH e a condutividade.

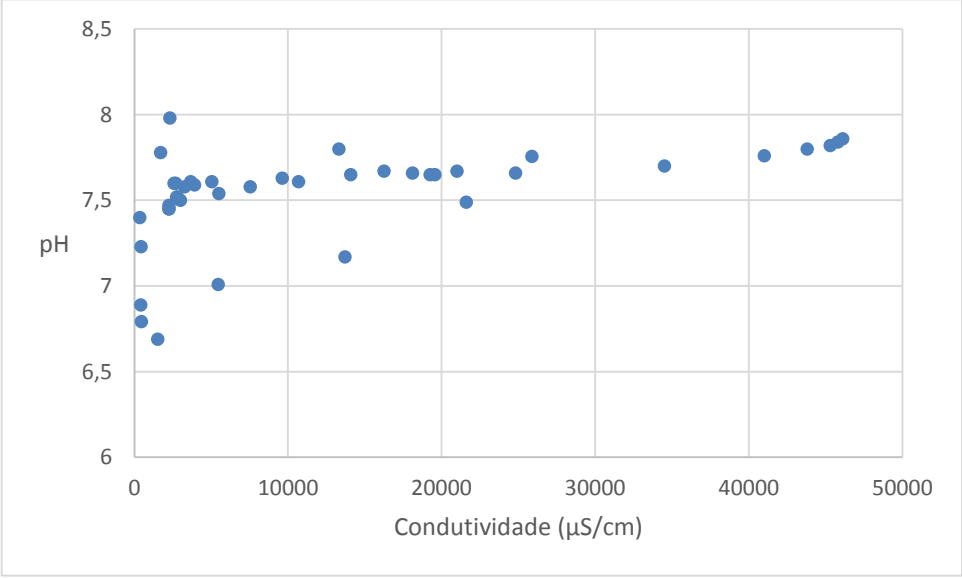

Figura 18. Relação entre condutividade e pH.

Como se observa, este parâmetro tem valores próximos de 7, uma vez que a amostra recolhida é água e 7 é o seu valor característico (valor neutro). O pH encontrado, normalmente, numa água doce que provenha maioritariamente de condições meteóricas (da chuva) é de cerca de 5,7 (Drever, 1997; Hem, 1985). Segundo a Carta de Acidez e Alcalinidade dos Solos os depósitos aluvionares associados ao leito do rio Mondego, apresentam um pH compreendido entre 5,6 a 6,5, sendo estes valores um

tanto inferiores aos resultados obtidos. No entanto, deve-se ainda ter em conta que o mesmo rio atravessa uma formação geológica carbonatada cujo pH se situa entre valores de 7,4 e 8,5, típicos de solos dominantemente alcalinos (Freitas F. C., 1984). Por este mesmo motivo não será portanto de estranhar que os valores mínimos obtidos neste estudo, para amostras consideradas águas doces, apresentem valores de pH próximos da neutralidade, superiores aos dos depósitos aluvionares referidos (5,6 a 6,5). Quando se verificam valores mais elevados de condutividade observa-se um aumento do valor do pH. Isto explica-se por não ser apenas a localização a responsável pelo aumento do valor de pH mas também a concentração da água do mar existente na amostra. Pode aferir-se que à medida que a água salgada se mistura com a água doce (consequente do aumento da maré) o pH da amostra aumenta. Isto pode ser justificável, uma vez que o pH do oceano tem valores entre 7,9 e 9,0, sendo alcalino devido à presença de iões alcalinos em maior quantidade, tendo por isso um valor de pH superior à água doce (Zeebe, 2009). Assim, quando a água salgada toma certas proporções perante a água doce, faz com que a água de compensação atinja um valor de pH superior.

2.3.3. Enquadramento Geológico

A zona, do ponto de vista geológico, na qual se encontra a bacia hidrográfica de onde é oriunda a água de compensação do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares encontra-se na Figura 19.

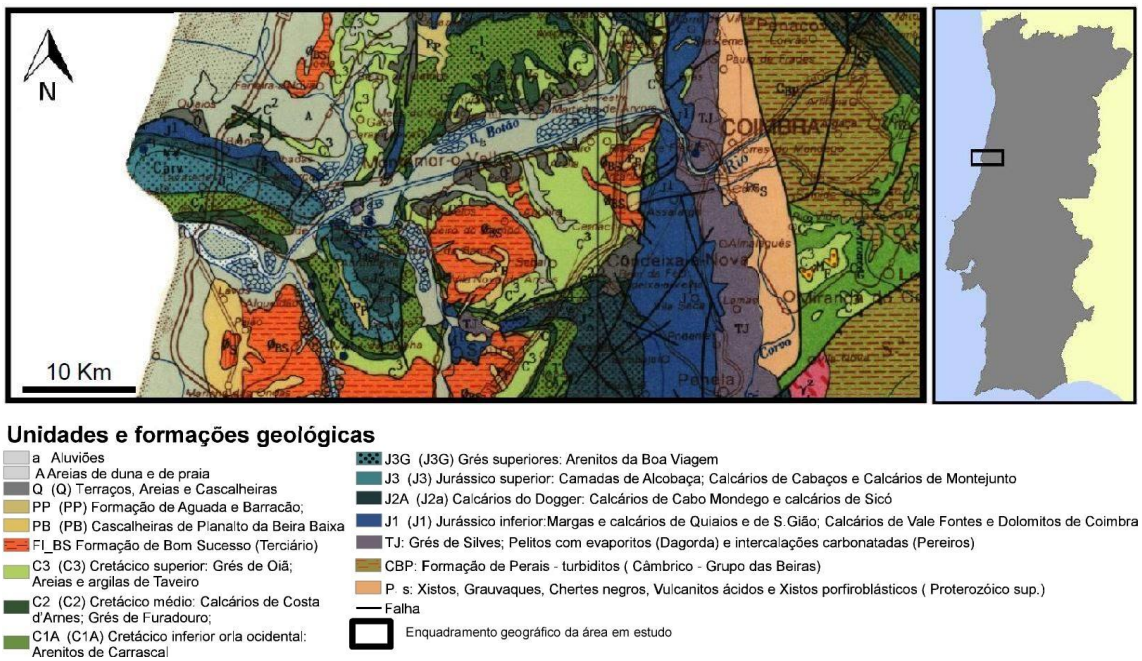
N
10 Km
COIMBRA
Unidades e formações geológicas
a Aluviões
A Areias de duna e de praia
Q (Q) Terraços, Areias e Cascalheiras
PP (PP) Formação de Aguada e Barracão;
PB (PB) Cascalheiras de Planalto da Beira Baixa
FI_BS Formação de Bom Sucesso (Terciário)
C3 (C3) Cretácico superior: Grés de Oiã; Areias e argilas de Taveiro
C2 (C2) Cretácico médio: Calcários de Costa d'Arnes; Grés de Furadouro;
C1A (C1A) Cretácico inferior orla ocidental: Arenitos de Carrascal
J3G (J3G) Grés superiores: Arenitos da Boa Viagem
J3 (J3) Jurássico superior: Camadas de Alcobaça; Calcários de Cabaços e Calcários de Montejunto
J2A (J2a) Calcários do Dogger: Calcários de Cabo Mondego e calcários de Sicó
J1 (J1) Jurássico inferior:Margas e calcários de Quiaios e de S.Gião; Calcários de Vale Fontes e Dolomitos de Coimbra
TJ: Grés de Silves; Pelitos com evaporitos (Dagorda) e intercalações carbonatadas (Pereiros)
CBP: Formação de Perais - turbiditos (Câmbrico - Grupo das Beiras)
P_s: Xistos, Grauvaques, Chertes negros, Vulcanitos ácidos e Xistos porfiroblásticos (Proterozóico sup.)
Falha
Enquadramento geográfico da área em estudo

Figura 19. Zona geológica da bacia hidrográfica da água de compensação.

A bacia hidrográfica do rio Mondego, que se estende desde a sua nascente na Serra da Estrela até desaguar na Figueira da Foz, interseta diferentes unidades litológicas que correspondem essencialmente a dois domínios: as unidades do maciço hespérico e as unidades da bacia meso-cenozóica, estando estes separados por um grande acidente estrutural, a falha Porto-Tomar-Córdoba.

As unidades do maciço hespérico correspondem essencialmente a granitóides de idade Varisca e a unidades do grupo das Beiras constituinte do Complexo Xisto-Grauváquico. As unidades mais precoces correspondem a turbiditos, por vezes finos, de idade Câmbrica (542 Ma a 488 Ma), pertencentes às formações de Perais, Rosmaninhal e Almaceda. Ocorrem por vezes, formações do Ordovícico (488 Ma a 443 Ma), nomeadamente os quartzitos correspondentes à formação do Quartzito Armoricano. No que respeita aos granitóides, estes corpos intrusivos instalaram-se durante a terceira fase de deformação Varisca e são granitos, granodioritos e monzogranitos porfiróides.

A oeste do acidente tectónico Porto-Tomar-Córdoba dominam litologias detríticas e carbonatadas pertencentes às unidades das Orlas Mesocenozoicas cujas idades variam entre os 240 Ma e os 5 Ma. Nesta região as litologias dominantes são essencialmente formadas por calcários, margas, dolomitos, argilas e arenitos.

Como já se referiu, a Central da EDP está localizada a cerca de 9 km da foz do rio Mondego, que corresponde a uma região em que o ambiente dominante é carbonatado. Neste local salientam-se as formações do Jurássico evidenciado pelas formações dos dolomitos de Coimbra (Jurássico Inferior), os Calcários do Cabo Mondego (Jurássico Médio) e os Arenitos da Boa Viagem (Jurássico Superior) e as formações do Cretácico, salientando-se as formações dos arenitos do Carrascal (Cretácico Inferior), Calcários da Costa d'Arnes, Grés do Furadouro e Areias e Argilas de Taveiro (Cretácico Superior) (Real, 1987).

2.3.4. Tratamento da água de arrefecimento da Central

Em consonância com o exposto, e uma vez que a Central Termoelétrica de Lares se encontra nas imediações do estuário do Mondego, a água utilizada para o arrefecimento do processo produtivo de energia elétrica é afetada pela maré. Assim, quando a maré sobe, a água salgada mistura-se com a água doce e tem-se uma "fusão" das características de ambas.

Com a captação da água do rio, e tendo em conta as condições às quais a torre de arrefecimento está sujeita, há a possibilidade de ocorrência dos problemas referidos, no subcapítulo anterior, no sistema de arrefecimento. Para o evitar, a água sofre um processo de tratamento.

Na tomada de água existem os filtros Johnson, tendo eles como principal função reter a entrada de objetos de grandes dimensões para a bacia de captação de água por ação das suas grelhas de captação, estando elas equipadas com ânodos de sacrifício que impedem a corrosão do revestimento metálico das grelhas de captação, uma vez que, o metal do ânodo irá desgastar-se, ao contrário do revestimento metálico das grelhas.

A água é então encaminhada, por ação da gravidade, para a bacia de captação onde ocorre a injeção de hipoclorito de sódio em contínuo, de forma a existir sempre tratamento aquando da captação de água para a bacia, devendo o residual de cloro ser mantido entre 0,5 mg/L e 1,0 mg/L, segundo documentos da Central. Esta bacia está equipada com três bombas de captação que reencaminham a água para os Filtros Monopack, que são filtros de areia (Figura 20). Este é um sistema constituído por quatro filtros, estando cada um dividido em quatro compartimentos, onde a água é submetida a dois tipos de tratamentos:

- Injeção de hipoclorito de sódio em contínuo quando estão em funcionamento, na entrada dos filtros de forma a evitar a proliferação da matéria orgânica;
- Filtração onde é removida grande parte da matéria orgânica.

Figura 20. Filtros Monopack (filtros de areia) da Central Termoelétrica de Lares.

Após filtração da água, ela é encaminhada para as bacias das torres de arrefecimento, sendo aí injetados produtos químicos, de forma a manter uma boa qualidade de água de compensação. A injeção em causa contempla os seguintes produtos químicos:

- Hipoclorito de sódio, tendo como objetivo a eliminação ou o controlo de microrganismos. É injetado de 12 h em 12 h, às 7h e às 19h, durante 15 min no outono e no inverno e durante 20 min na

primavera e no verão, devido à degradação de cloro por parte do calor e da luz solar. O caudal da bomba de injeção é de 1000 m^3/h;

• Biodispersante, tendo como finalidade, como o próprio nome indica, a dispersão e remoção dos depósitos de microrganismos, diminuindo assim o número de paragens para a limpeza. A presença deste químico potencia a ação antimicrobiana do cloro. Este injeta-se uma vez por semana (segunda-feira) uma hora antes da adição de hipoclorito de sódio através de uma bomba com caudal de 19,1 L/h;

• Anti-Incrustante, tendo como função evitar a deposição de sais minerais no sistema de arrefecimento resultantes dos processos de corrosão na tubagem do circuito e na tubagem do condensador. Este produto injeta-se em contínuo quando existe água de compensação a entrar nas bacias da torre de arrefecimento, através de uma bomba com caudal de 7,5 L/h;

• Ácido clorídrico, de forma a controlar os valores de pH e de alcalinidade, sendo apenas adicionado caso o pH da água seja superior a 8,2.O objetivo da sua adição é baixar o pH e a alcalinidade resultante da água salgada. O caudal de injeção é de 60 L/h;

• Bissulfito de sódio, neutralizando-se por esta ação o excesso de cloro. Este apenas é adicionado na purga e quando o residual de cloro é superior a 0,5 mg/L, uma vez que, segundo o DL 236/98, este é o limite máximo de concentração legal para a descarga de água no meio ambiente. O caudal de injeção é de 11,3 L/h;

• Anti-Espuma, tendo como objetivo a eliminação de espuma, sendo apenas adicionado caso esta se demonstre visualmente.

A monitorização química desempenha um papel importante no controlo da qualidade da água do circuito permitindo conhecer e classificar o seu estado e, consequentemente, dando a possibilidade de atuar e tomar medidas antecipadamente, assegurando uma água com a qualidade adequada bem como do funcionamento de todo o sistema de arrefecimento. A periodicidade com que esta averiguação é efetuada fornece informações úteis para a atuação imediata no sistema. Um acompanhamento a longo prazo fornece dados suficientes para identificar as tendências e desenvolver modelos de previsão.

Assim, para controlar o sistema de arrefecimento e verificar se o tratamento da água está a ser eficiente, faz-se um conjunto de monitorizações químicas para controlar a eficiência do tratamento. Para tal, os parâmetros a analisar são:

pH

O potencial de hidrogénio (pH) é definido como o logaritmo negativo da concentração molar dos iões de hidrogénio. A oscilação dos iões hidrogénio e hidróxido diz se uma amostra será, e em que grau, ácida ou básica. O pH é representado numa escala entre 0 e 14, sendo que 7 é neutro e os valores de pH inferiores a 7 representam que se está na presença de um ácido e sendo superiores a 7 está-se na presença de uma base (World Health Organization, 2003). Este parâmetro é essencial no tocante à preservação das tubagens e equipamentos bem como no que diz respeito à eficácia dos agentes desinfetantes.

Condutividade

A condutividade, ou a condutância específica, é a capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica (Fondriest Environmental, Inc., 2014). Este parâmetro indica a presença de substâncias químicas dissolvidas (na forma iónica) na água, sendo assim um bom orientador das alterações na constituição de uma água, sobretudo quanto à sua concentração mineral. Saliente-se todavia que ela não indica as quantidades dos vários componentes. Na medida em que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade aumenta. Um acréscimo da condutividade indica um acréscimo da dureza da água. Em consequência, uma diminuição da pureza e uma maior quantidade de sólidos dissolvidos (sais) na água dão origem a incrustações e corrosões nas tubagens e equipamentos. A condutividade vê-se afetada pela temperatura. Usa-se por isso uma referência padrão de 25 °C, sendo necessário fazer a correção da medida para valores distintos, sempre que o condutivímetro (aparelho de medida da condutividade) não o fizer por si só. A unidade SI deste parâmetro é siemens por metro (S/m) (Alves, 2010).

Turvação

A turvação ou turbidez tem a sua origem em matérias sólidas que se encontram suspensas na água (silte, argila, colóides, matéria orgânica, etc.). Esta característica manifesta-se na maioria das águas superficiais, não existindo, por via de regra, nas águas subterrâneas, excetuando-se os poços e nascentes após chuvas intensas. Nem sempre a existência de turvação afeta a saúde pública, mas uma água turva que contenha materiais requer tratamento para que ela se ajuste ao uso desejado. O nefelómetro é o turbidímetro mais utilizado. Este mede a razão entre a intensidade de luz dispersa pela amostra numa direção aproximadamente perpendicular ao raio de luz incidente e a intensidade de luz que é transmitida

(Brito et al, 2010). A turvação pode dar origem à coloração de recipientes e equipamentos, ou à descoloração de tecidos. Poderá também revelar a presença de microrganismos patogénicos, incluindo bactérias, vírus e parasitas. Quanto à determinação ela pode ser realizada por observação visual ou através de métodos espectrofotométricos e nefelométricos (Alves, 2010).

Cloro residual livre

Quando se fala em cloro residual livre, está a fazer-se referência à quantidade de cloro (agente oxidante mais comum para a desinfeção) que perdura na água após o tratamento, para assim fazer face a eventuais contaminações futuras. Apesar de este não representar qualquer perigo para a saúde pública, a presença deste composto na água provoca, com frequência, uma contestação por parte do consumidor, devendo-se esta à falta de informação. Atente-se, contudo, que concentrações excessivas poderão levar à corrosão dos sistemas de distribuição. Além de ter uma função de desinfeção muito importante, ele reage com amoníaco, ferro, magnésio e substâncias responsáveis por odores e sabores, pelo que a sua ação melhora substancialmente a qualidade da água. Saliente-se que o cloro detém a sua eficácia máxima quando os valores de pH estão entre 7 e 8,2 (Teixeira et al, 1997).

Alcalinidade

Este parâmetro de qualificação de água corporiza-se no total das substâncias presentes numa água, suscetíveis de neutralizar ácidos fortes (atuando estas substância como tampão). A alcalinidade deve-se maioritariamente à presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Mede-se este parâmetro através da determinação por titulação da amostra com uma solução de um ácido forte como o HCl, referenciando dois pontos sucessivos de equivalência, indicados por meios potenciométricos, ou por mudança de cor, com o auxílio de dois indicadores ácido-base apropriados. Com esta metodologia, obtém-se a alcalinidade à fenolftaleína, que revela a medida do teor de hidróxidos e de carbonatados alcalinos presentes numa amostra (usualmente expressa em termos de $CaCO_3$), estabelecida pelo dispêndio de ácido até se chegarão valor de pH de 8,3. A alcalinidade total corresponde à medida do teor de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos da amostra, sendo determinada pelo volume gasto de ácido até chegar-se a um pH igual a 4,5. A alcalinidade é um parâmetro revelador quanto à tendência para a formação de incrustações no sistema de arrefecimento (Alves, 2010). Este parâmetro, neste estudo, determinou-se pela NP 421:1996.

Cloretos

Estes compostos revelam-se em quase todas as águas naturais e originam-se possivelmente na dissolução de minerais, no contacto com a água do mar, no contacto com urina, na poluição por esgotos e no contacto com efluentes industriais. A corrosão em tubulações de aço e alumínio pode ser acelerada devido a elevadas concentrações de cloretos na água, podendo o sabor dela ser alterado quando as concentrações de cloro são superiores a 250 mg/L, com possíveis implicações no sistema cardiovascular (Az, 2003).

Dureza

Indica o conteúdo em iões de metais alcalino-terrosos, com enfase nos correspondentes ao cálcio e ao magnésio. Ela pode ser temporária, permanente e total. Quando se fala em dureza temporária alude-se à situação em que os iões de cálcio e de magnésio se combinam, devido ao aquecimento, com iões bicarbonato e carbonato, podendo ser eliminados por fervura. A dureza permanente tem origem na combinação de iões de cálcio e magnésio com sulfatos, cloretos, nitratos e outros, formando-se assim compostos solúveis que não podem ser eliminados pelo aumento da temperatura. Por fim, a dureza total será a soma da dureza temporária e da permanente. Denote-se que poderão ser formadas incrustações nas tubulações por onde passa água quente, uma vez que os sais se poderão precipitar devido à ação anteriormente referida.

A dureza é expressa em miligrama por litro (mg/L) ou miliequivalente por litro (meq/L) de $CaCO_3$ (carbonato de cálcio) independentemente dos iões que a originem. De forma subtil, o ferro, o manganês e o zinco presentes na água contribuirão para a sua dureza (Yang et al, 2006). A dureza cálcica corresponde à concentração de cálcio existente na amostra. Ambas as durezas, quer total, quer cálcica, determinaram-se, neste estudo, pelas NP 424:1966 e NP 506:1967, respetivamente.

Oxigénio Dissolvido

Muitos seres vivos estão dependentes do oxigénio para manter a atividade metabólica para produzir energia e crescer e reproduzir. Assim, o oxigénio existente na água é decomposto por microrganismos que o usam na respiração. A concentração de oxigénio dissolvido numa água poderá ser indicadora da presença de microrganismos na água, sendo necessário um tratamento desta por forma a removê-los. Isto ocorre, quer para que a água seja eficaz para o uso a que se destina, quer por questões de saúde pública uma vez que alguns desses microrganismos podem ser patogénicos. A

concentração de oxigénio dissolvido na água é determinado através de um medidor portátil, sendo esta usualmente expressa com a unidade mg/L.

Sólidos Suspensos

A matéria particulada suspensa na água provém do pó atmosférico removido pelas chuvas, do contacto com a terra e com as fibras vegetais, da vegetação em decomposição, dos resíduos de animais aquáticos, das algas, do plâncton, da suspensão de sedimentos, entre outros. Estas matérias dão à água um aspeto diferente do normal, aumentando pois a turbidez e originando uma coloração dependendo dos sólidos em causa. O excesso de sólidos é sempre um perigo para a fauna e flora do ecossistema e representa uma perda de qualidade da água. Os sólidos mais frequentemente encontrados em suspensão na água são a argila, o lodo e os produtos de corrosão (Sluiter et al, 2008).

Sólidos Dissolvidos

Os sólidos dissolvidos resultam sobretudo do contacto da água com as rochas e solos, mas compreendem também matéria orgânica dissolvida. Estes, sobretudo os ionizados (eletrólitos), são os responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica da água (numa água doce é, tipicamente, 100 μS/cm, podendo subir para valores cem vezes maiores em águas salgadas), assim como contribui para o aumento da dureza da água. O excesso destes sólidos poderá levar a problemas de corrosão ou formação de depósitos em superfícies metálicas, tornando também a água imprópria para consumo e mesmo para a rega. Estes são capazes de atravessar um filtro de 2 μm (Sluiter et al, 2008). Neste estudo, estes foram determinados por peso após evaporação da amostra, pelo método de SMEWW 2540 C.

Bacteriologia

Existem bactérias presentes naturalmente na água que têm pouco significado na saúde pública. No entanto, pode surgir uma elevada contagem de colónias sobretudo em zonas de maior estagnação dos sistemas de distribuição de água (World Health Organization, 2003) que, na sua larga maioria, não causam qualquer doença em pessoas saudáveis. Contudo, não se pode ignorar a existência de microrganismos aos que são responsáveis por doenças graves nos seres humanos como a *Legionella* e a *Naegleria*.

3. Produtos Químicos

3.1. Anti-incrustante

3.1.1. Propósito

Num circuito de água de arrefecimento é comum ocorrer acumulação de materiais, orgânicos e inorgânicos, indesejáveis no equipamento. A sua presença nas superfícies é responsável por três fatores que têm um efeito negativo na eficiência do equipamento e, consequentemente, de todo o processo produtivo de energia elétrica, sendo também responsáveis por um consumo adicional de energia, representando assim custos acrescidos. Os efeitos da presença destes sólidos são:

- Aumento da rugosidade da superfície, reduzindo a área de passagem do fluido, aumentando assim as perdas de carga;
- Diminuição da transferência de calor, uma vez que a incrustação gera uma resistência adicional;
- Aumento da probabilidade de ocorrência de processos corrosivos, devido ao aumento da concentração de sólidos na água promovida pela existência de depósitos.

A formação de uma camada aderente de cristais oriundos de sais ou de óxidos insolúveis numa superfície onde ocorra transferência de calor é geralmente designada de incrustação. Este fenómeno é visível quando se ultrapassa o limite de solubilidade de um sal ou óxido e estes se precipitam sobre a superfície onde se dá a transferência de calor. Com o fenómeno da evaporação da água dá-se o aumento da concentração de substâncias dissolvidas que podem precipitar de forma aderente nas superfícies, dando origem às incrustações. Alguns dos sais mais comuns, como o carbonato de cálcio, os fosfatos de cálcio e magnésio e o silicato de magnésio, têm solubilidade invertida, significando isto que a probabilidade de estes precipitarem quando a temperatura aumenta é bastante maior. No que respeita à composição das incrustações pode dizer-se que ela é geralmente bastante complexa e que depende da qualidade da água de compensação, do meio que rodeia a torre de arrefecimento e ainda das condições com que se opera todo o sistema de refrigeração. Os compostos mais comuns neste tipo de sistema são o carbonato de cálcio (composto mais comum nas incrustações), o sulfato de cálcio (pouco solúvel e difícil de remover), o fosfato de cálcio (menos solúvel que o carbonato de cálcio), os óxidos de ferro (aparecem frequentemente nos depósitos como consequência dos processos corrosivos no sistema), os fosfatos de ferro e de zinco (podem surgir como consequência do tratamento químico) e o

silicato de magnésio (de aspeto vidrado e de difícil remoção, devendo-se para o efeito utilizar meios mecânicos) (Melo et al, 1987).

Para que exista a formação de cristais é necessária a verificação simultânea de quatro condições, a saber: a solubilidade do sal ou óxido deve ser ultrapassada; o desenvolvimento de partículas microcristalinas; o tempo de contacto terá de ser suficiente para ocorrência de crescimento de cristais; e ainda, a velocidade de precipitação do sal ou óxido deverá ser superior à sua velocidade de dissolução. Como já foi referido, uma superfície corroída tem uma maior rugosidade, tornando-se mais favorável a deposição de materiais, da mesma forma que a baixa velocidade da água num determinado local aumenta o tempo de contacto, levando assim a uma maior suscetibilidade de existirem incrustações.

Os sais de cálcio, devido à sua predominância em circuitos de água de arrefecimento, são prioritários nas preocupações dos técnicos (que manuseiam o equipamento) e dos cientistas (que tentam desenvolver alternativas à sua acumulação nas superfícies), uma vez que são estes os que geram maior número de incrustações, através nomeadamente do carbonato de cálcio.

Pretende-se, portanto, que a formação de incrustações nos circuitos de arrefecimento não seja materializada. Para tal são desenvolvidas determinadas ações, nomeadamente:

- Controlar a concentração das espécies iónicas críticas, o cálcio e o carbonato, na água de compensação. Assim atua-se através da diminuição da alcalinidade (carbonato) por injeção de um ácido;
- Operar o projeto com o intuito de minimizar as zonas de baixa velocidade ou estagnação, tentando aumentar a velocidade da água e modificar a metalurgia do sistema; ou por outra via, utilizar um processo de limpeza regular, como o sistema *Taprogge* (que é um sistema de bolas porosas de pequenas dimensões que passam nos tubos) para limpeza dos permutadores de calor;
- Aplicar produtos químicos com a capacidade de afetar a solubilidade do sal, transformando o mecanismo de crescimento de cristais ou sendo dispersantes que interagem com as partículas carregadas eletricamente;
- Controlar a purga.

Os compostos mais utilizados para inibir a ocorrência de incrustações são os polifosfatos, os fosfonatos, os dispersantes sintéticos (poliacrilatos, polimetacrilatos e polimaleatos), os dispersantes naturais (taninos, lignossulfonatos e carboximetilcelulose) e os complexantes (NaEDTA e NaNTA) (Teixeira et al, 1997).

Para evitar o desenvolvimento de incrustações, procede-se ao tratamento da água de compensação captada para o sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares, dando-se a injeção de um produto químico, um anti-incrustante (NALCO 1393), nas bacias da torre de arrefecimento. Este produto é constituído por ácido hidroxietilidenedifosfonico e ácido fosfónico.

3.1.2. Metodologia

No que respeita ao possível potencial da água para causar incrustações, ter-se-ão de relacionar alguns fatores, como por exemplo, valores de pH e temperatura elevados, para se perceber qual o grau de suscetibilidade de causar tal fenómeno. Com a análise dos parâmetros referidos (entre outros), pode concluir-se que se está na presença, em excesso, de carbonatos ou sulfatos de cálcio e/ou magnésio, podendo ainda resultar na presença de ferro que em contacto com o oxigénio é oxidado, originando assim precipitados férricos insolúveis, possibilitando um panorama das possíveis incrustações no sistema.

De forma a evitar incrustações por carbonato de cálcio, o pH da concentração deve ser menor do que o pH de saturação (pHs). Esta relação é expressa, aproximadamente, pelo Índice de Saturação de Langelier (*LSI*) para águas com valores de sólidos totais dissolvidos (*STD*) inferiores a 10 g/L e pelo Índice de Saturação de Stiff & Davis (*S&DSI*) para águas com mais de 10 g/L (CSM, 2010; Peña et al, 2009).

Assim, quando *STD* < 10 g/L usa-se a Equação 1. Nesta, pH é o pH da água e pHs é o pH da solução saturada de carbonato de cálcio.

$$LSI = \mathrm{pH} - \mathrm{pH_s} \qquad \text{(Equação 1)}$$

O pHs calcula-se recorrendo à Equação 2. As constantes A, B, C e D calculam-se através das Equações 3, 4, 5 e 6, respetivamente. Na Equação 5, $[Ca^{2+}{}_{CaCO3}]$ é a concentração de Ca^{2+}, expressa como $CaCO_3$. Alc_{CaCO3}, na Equação 6 é o valor de alcalinidade total, expressa como $CaCO_3$. Todos os valores anteriormente referidos estão expressos com mg/L.

$$\mathrm{pH_s} = (9{,}3 + A + B) - (C + D) \qquad \text{(Equação 2)}$$

$$A = 0{,}1 \times [-1 + \lg\left(\frac{STD}{\mathrm{mg/L}}\right)] \qquad \text{(Equação 3)}$$

$$B = 34{,}55 - 13{,}12 \times \lg\left(\frac{T}{\mathrm{K}}\right) \qquad \text{(Equação 4)}$$

$$C = -0{,}4 + \lg[Ca^{2+}_{CaCO_3}] \qquad \text{(Equação 5)}$$

$$D = \lg[Alc_{CaCO_3}] \quad \text{(Equação 6)}$$

Quando STD > 10 g/L usa-se a Equação 7. Nesta o pH é o pH da água; o pCa é o logaritmo negativo da concentração de cálcio em mg/L; o pAlc é o logaritmo negativo da concentração de alcalinidade total em mg/L; o K é a constante em função da temperatura da água e da sua força iónica (Anexo A).

$$S\&DSI = \text{pH} - pCa - pAlc - K \quad \text{(Equação 7)}$$

Quando o valor do índice de saturação é positivo, a água em análise tem tendência incrustante. Quando este é negativo tem tendência corrosiva (CSM, 2010).

Na Tabela 1 encontram-se os intervalos de Índice de Saturação (*IS*) normalmente considerados e os seus significados.

Tabela 1. Intervalos de valores de *IS* e respetivos significados

Índice de Saturação	Indicação
> 4	Incrustação severa
3 a 4	Incrustacão moderada
1 a 3	Incrustacão suave
0.5 a 1	Incrustacão muito suave
– 0.5 a 0.5	Equilíbrio
– 2 a – 0.5	Corrosão suave
– 5 a – 2	Corrosão moderada
< – 5	Corrosão severa

No que respeita à corrosão, sendo que as bacias de captação são de betão, este fenómeno não é preocupante, uma vez que este material não é corroído pela água, porquanto o pH da água dos poros do betão é de cerca 12,5 (alcalinidade elevada) e na presença de valores elevados de pH forma-se uma camada óxida microscópica na superfície dos varões (película passiva) que impede a dissolução do ferro, impedindo assim a corrosão (Mendonça, 2005). Pode então admitir-se que apenas águas com *IS* de valores superiores a 0,5 são consideradas preocupantes, sendo este o valor com o qual se começam a formar incrustações muito suaves.

Posto isto, considerou-se importante perceber quais as características presentes na água de compensação, em dados momentos, uma vez que devido à localização da Central Termoelétrica de Lares há que considerar a influência das marés na água mencionada. Ou seja, no momento seguinte será necessário perceber qual a influência que as marés do Oceano Atlântico detêm nesta água de

compensação oriunda do rio Mondego. Importante será também relacionar a subida das marés com a variação da composição da água de compensação. De forma consequente, verificar-se-á a necessidade (ou a sua ausência) de aplicação de tratamento relativo às incrustações. No caso de se configurar necessário a aplicação do tratamento da água de compensação, estudar-se-á qual o mais adequado para o efeito: o atualmente aplicado na Central ou um distinto deste (quantidade do produto a utilizar).

3.1.3. Trabalho experimental

De forma a tentar perceber qual a quantidade ideal de produto anti-incrustante a utilizar estudou-se a necessidade da aplicação do produto em estudo no tratamento da Central Termoelétrica de Lares. Para tal, recolheu-se água do sistema de arrefecimento em diferentes dias e horas durante um período correspondente a três meses e analisou-se os valores de *IS* obtidos, comparando-se os resultados. Os parâmetros a determinar foram: a temperatura, o pH, a condutividade, os sólidos dissolvidos, a dureza cálcica e a alcalinidade total. Estes, após aplicação do método descrito anteriormente, permitiram a classificação da água no que respeita à tendência corrosiva ou incrustante. Depois, caso se apurasse a necessidade da aplicação do produto anti-incrustante no tratamento da água de arrefecimento, o último objetivo seria efetuar um estudo onde se aplicaria diferentes concentrações deste produto de forma a perceber qual a concentração ideal para um eficiente tratamento do sistema de arrefecimento.

O principal objetivo do estudo relativo ao anti-incrustante foi tentar encontrar um método rápido e de fácil perceção que indique qual a tendência da água do sistema a causar inscrustações e, consequentemente, concluir relativamente à necessidade de aplicação deste produto químico no tratamento ou não.

Após vários dados obtidos relativamente à dureza total, fez-se um pequeno estudo onde se relacionou a dureza total com a dureza cálcica e com a condutividade (Anexo B).

Realizou-se uma aproximação bastante razoável da força iónica de todas as amostras (Anexo C).

3.1.4. Resultados

Os objetivos principais da metodologia aplicada foram perceber qual a tendência da água do sistema: se esta tem tendência corrosiva ou se por outro lado a tendência é incrustante. Para tal recorreu-se à determinação do *IS* observando-se todos os seus parâmetros: temperatura, pH, dureza cálcica, alcalinidade, *STD* e força iónica.

A condutividade elétrica não é comumente utilizada como indicador da variação do *IS*. No entanto, como referido no subcapítulo 2.3.4., esta indica a presença física de substâncias químicas dissolvidas (iões) na água, correspondendo a um parâmetro rápido e fácil de determinar. Atendendo às características da água do sistema (afetadas pelo comportamento das marés), a condutividade torna-se um bom caracterizador no que respeita ao tipo de água existente (Fondriest Environmental, Inc., 2014). Assume-se assim que quanto maior a condutividade, maior a concentração de água salgada existente na amostra. Em consonância com o exposto, a condutividade serviu de referencial para aferir a tendência na determinação do *IS*.

Posto isto, apresenta-se na Figura 21 a relação entre os diferentes valores de condutividade e os valores de *IS*. De forma a simplificar a compreensão dos resultados, agruparam-se os mesmos em água doce – sendo que estes são as amostras com uma concentração de *STD* inferior a 10 g/L; e água salgada – neste grupo encontram-se as amostras de água com concentração de *STD* superior a 10 g/L (Peña et al, 2009).

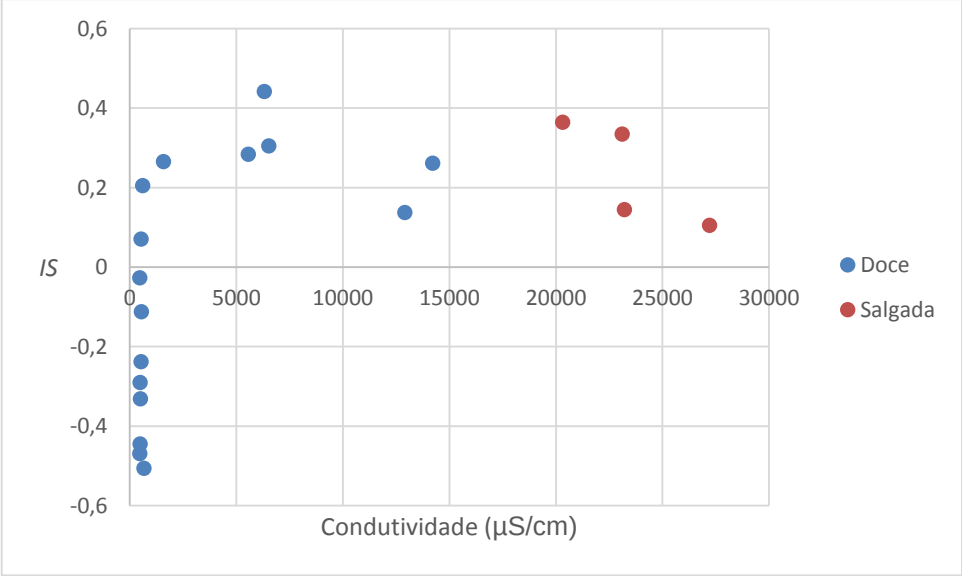

Figura 21. Relação entre condutividade e *IS*.

Como é possível verificar na Figura 21, para amostras de água do sistema considerada doce, os valores de *IS* aumentam à medida que a condutividade aumenta, atingindo um valor de *IS* máximo de 0,44 para uma condutividade de 6300 µS/cm. Enquanto para amostras de água salgada, essa tendência é contrária, visto que para o valor máximo de condutividade (27000 µS/cm) o valor de *IS* atingido é de 0,1.

3.1.5. Discussão dos Resultados

O trabalho experimental levado a cabo no âmbito da utilização do anti-incrustante no processo de tratamento do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares teve como fundamento dois objetivos, a saber: perceber qual a tendência da água de arrefecimento no que respeita à incrustação bem como considerar se o produto químico em causa é necessário ao tratamento; e, por último, caso seja necessária a sua utilização, determinar qual a quantidade ótima a aplicar.

Quanto ao primeiro objetivo, verificada a relação expressa na Figura 21, sendo esta representativa da condutividade obtida com os valores de *IS*, pode afirmar-se que quando se verificam águas com uma concentração de *STD* inferiores a 10 g/L (água doce), à medida que a condutividade aumenta, indicando uma maior quantidade de sais, a amostra vai tendendo para valores menos corrosivos, uma vez que o valor de *IS* desta vai tendo valores superiores a –0,5 consequentemente conforme vai aumentando a condutividade. Já para águas com teor de *STD* superior a 10 g/L (água salgada), observa-se uma tendência cada vez mais corrosiva à medida que a condutividade aumenta (quando a maré sobe). A mesma tendência verifica-se na água de compensação, mesmo quando concentrada após ocorrência do fenómeno de evaporação da torre de arrefecimento. Refira-se que em ambas as águas utilizadas para o estudo (água do sistema e água de compensação após evaporação), em nenhum dos casos, a amostra teve um valor de *IS* superior a 0,5, o que indica que em nenhum dos casos a água de arrefecimento apresenta uma tendência incrustante. Pode afirmar-se que em grande parte da água analisada, está-se perante a situação de equilíbrio: não tem tendência incrustante ou corrosiva. Este facto advém do intervalo de valores de *IS* se situar entre –0,5 e 0,5. Repare-se que o valor máximo de *IS* obtido foi de 0,45.

A tendência que se acabou de referir pode ser justificada pelo facto dos processos de interação água-rocha conduzirem à mobilização do Ca^{2+} e Mg^{2+} a partir da litologia dominante uma vez que, de acordo com o troço final da bacia hidrográfica do rio Mondego, como verificado no subcapítulo 2.3.3, dá-se a drenagem de terrenos com composição carbonatada, sendo estes constituídos por minerais ricos em cálcio e magnésio (calcite e dolomite), proporcionando a mobilização dos elementos alcalinos (Ca^{2+} e Mg^{2+}).

O total de sólidos dissolvidos encontra-se por sua vez relacionado com a dureza total de uma água. Para um modelo de interação água-rocha típico, pressupõe-se que ao interagir com os diferentes substratos, a água promove trocas iónicas entre ela e o meio, removendo alguns destes catiões que são incorporados na mesma, ocorrendo a reação expressa na Equação 8 (Navarro & Gama, 2005):

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2HCO_3^- + Ca^{2+}$$ (Equação 8)

Portanto, espera-se que à medida que são remobilizados os diversos compostos iónicos, a concentração destes aumente na amostra. Assim, também é espectável que a concentração dos iões de cálcio e magnésio neles incluídos aumente. Consequentemente, o aumento da concentração de *STD* estará relacionado com o aumento da dureza. Verifica-se que a distribuição da concentração de *STD* e a dureza apresentam uma distribuição análoga, tal como se pode verificar através da correlação apresentada na Figura 26 (Anexo D). Pode então concluir-se que a águas com menores durezas corresponderão menores valores de concentrações de *STD*.

Para águas com uma concentração reduzida de *STD* e de baixa dureza (água doce), o *IS* apresenta valores mais reduzidos, que variam entre "corrosão moderada" e " equilíbrio". Globalmente, os dados mostram que estas águas apresentam uma tendência de corrosão suave, verificando-se um incremento do *IS* com a dureza. Esta é uma tendência espectável para baixas mineralizações, que, por não apresentarem uma concentração de *STD* em quantidades suficientes para ultrapassar o limite de saturação de compostos em solução, apresentam um potencial corrosivo.

Esta tendência corrosiva (*IS* < –0.5) altera-se para valores de *IS* positivos para um intervalo de valores de dureza e de total de sólidos dissolvidos compreendido entre valores que transitam entre água doce e salgada, num ambiente salobro tipicamente estuarino.

Do ponto de vista químico, afirma-se que o limite de saturação para a calcite ($CaCO_3$) foi ultrapassado (pHs>pHa) podendo existir alguma formação de calcite nas tubagens. No entanto, uma vez que se encontra em ambiente de equilíbrio definido entre –0,5 e 0,5 no *IS*, estes precipitados de calcite tornam-se novamente instáveis e são dissolvidos na água, não formando as incrustações propriamente ditas.

Portanto, à medida que a água salgada se mistura com a água doce, a sua concentração na amostra vai aumentando e chegando ao ponto onde a amostra já é considerada água salgada. Esta vai tendo uma tendência cada vez mais corrosiva, diluindo o efeito incrustante anteriormente referido. Isto ocorre porque, como já se referiu anteriormente, a água do mar tem uma tendência corrosiva (Al-Fozan & Malik, 2008).

O terceiro e último objetivo, proposto para esta fase do presente estudo, não foi levado a cabo. Isto explica-se pelos resultados obtidos anteriormente, dos quais este dependia. Assim, como foi verificado com os resultados apresentados quanto ao segundo objetivo, não existe necessidade de utilização de produto anti-incrustante para o tratamento do sistema de arrefecimento da Central

Termoelétrica de Lares – uma vez que não existe, pelo explicado acima, tendência para ocorrerem incrustações devido às características da água em análise.

3.2. Biodispersante

3.2.1. Propósito

Nos sistemas de arrefecimento de água são vários os fatores favoráveis ao desenvolvimento e multiplicação de microrganismos. Esses fatores são: energia, fontes de carbono e nutrientes, temperatura, pH, entre outros. No tocante à temperatura, pode mencionar-se que esta desempenha um papel importante na velocidade de crescimento da biomassa, sendo que para uma grande quantidade de espécies, o valor ótimo da temperatura é 37 °C, sendo coincidentemente esta a que geralmente se regista nos circuitos de arrefecimento (Teixeira et al, 1997).

Os microrganismos que estão presentes na água de compensação que se introduz no sistema de arrefecimento têm portanto, ao seu dispor, todas as condições que são favoráveis ao seu desenvolvimento, sendo essas condições ainda mais favoráveis nos permutadores de calor e nas torres de arrefecimento. Isto leva a um fenómeno bastante negativo para o sistema, sendo que são os microrganismos os responsáveis pela formação de *biofouling* – fixação de um conjunto de microrganismos numa superfície em contacto com a água (Evans & Hoagland, 1986) – pelo agravamento das situações de corrosão e pelo consumo de certos produtos utilizados no tratamento da água, como os polifosfatos e os "fosfatos orgânicos". O mais grave de todos os aspetos negativos é a possibilidade de pôr em risco a saúde pública, sendo estes responsáveis de doenças bastante perigosas (Cullimore, 1986).

Muitos dos problemas causados no sistema de arrefecimento são causados pelas bactérias. Também as algas e os fungos podem ser responsáveis por estes, embora numa proporção bastante menor. As algas atuam nas estruturas da torre, obstruindo a passagem da água no enchimento; já os fungos, quando a torre é constituída por madeira, destroem-na. Estes microrganismos têm a capacidade de sintetizar um elevado número de enzimas, sendo muitas delas excretadas para o meio envolvente. Estas enzimas, têm a capacidade reagir com moléculas orgânicas e inorgânicas de modo a poderem servir de alimento e/ou energia a microrganismos, uma vez que podem ser assimiladas por estes, fomentando assim o seu crescimento e reprodução (Teixeira et al, 1997).

Mais comummente pode encontrar-se, nos sistemas de arrefecimento de água, três classes de bactérias: aeróbias formadoras de limo (desenvolvem-se a temperaturas entre os 15 °C e os 50 °C e com valores de pH entre 4 e 8); anaeróbias corrosivas (surgem e multiplicam-se apenas em meios livres de oxigénio, no entanto conseguem sobreviver por períodos relativamente longos em meios arejados); e depositantes de ferro (bactérias anaeróbias ou facultativas que usam o ferro como fonte de energia

precipitando-o sob a forma de hidróxido ou óxido férrico). Há ainda bactérias nitrificantes que apenas se desenvolvem em sistemas de arrefecimento contaminados com amoníaco e são bactérias que convertem a amónia em nitrato (Teixeira et al, 1997).

Para que ocorra o desenvolvimento de algas é necessário que parte do sistema seja iluminado por luz solar; já no que toca aos fungos, estes são microrganismos aeróbios que geralmente se reproduzem por esporos e não contêm clorofila (Evans & Hoagland, 1986).

Para o tratamento e prevenção do *biofouling*, sendo considerado em parte como uma incrustação de origem biológica, nas bacias da torre de arrefecimento, adiciona-se atualmente Spectrus BD1500 (produto biodispersante) com o intuito de dispersar e remover os depósitos de microrganismos. Este produto é uma solução aquosa alcalina de um polímero baseado em óxido de propileno e óxido de etileno.

3.2.2. Metodologia

Como já se referiu anteriormente, o hipoclorito de sódio tem como objetivo a eliminação ou o controlo de microrganismos numa amostra de água. No entanto, como também já se referiu, há também a adição de produto biodispersante no tratamento da Central Termoelétrica de Lares. O objetivo da utilização de dois produtos químicos para a resolução do problema em causa tem origem no facto de existir uma adesão muito forte por parte dos microrganismos à superfície da torre de arrefecimento. É pelo exposto compreensível que existe a necessidade de uma adição de um produto biodispersante, para remoção de qualquer depósito orgânico e/ou agregação de microrganismos. Para a posterior eliminação dos depósitos anteriormente referidos e para a inibição do seu crescimento, adiciona-se, após uma hora subsequente à injeção do produto biodispersante, hipoclorito de sódio.

Posto isto, é pertinente questionar, não existindo *biofouling* e caso a sua formação não seja previsível de existir, se a presença contínua de cloro residual livre na água de arrefecimento seria suficiente para garantir a limpeza do sistema. A aplicação única de hipoclorito de sódio, continuando a ser eficiente o tratamento da água em causa, permitiria uma redução de custos ambientais e económicos.

3.2.3. Trabalho experimental

Recolheram-se nove litros de água do rio Mondego (origem da água de compensação do sistema de arrefecimento), distribuindo-se o recolhido por nove gobelés uniformemente. Em cada gobelé encontrava-se um fragmento de betão para os microrganismos poderem aderir a uma superfície

constituída pelo mesmo material que as bacias de arrefecimento. No primeiro dos gobelés apenas se colocou amostra, no segundo foi colocada uma amostra com cloro, no terceiro colocou-se amostra com biodispersante e no quarto simulou-se o tratamento aplicado na Central Termoelétrica de Lares (biodispersante e após uma hora existiu aplicação de hipoclorito de sódio). Estas amostras encontravam-se sob agitação (20/min), simulando o funcionamento do sistema.

Simultaneamente procedeu-se à colocação, no quinto gobelé, de uma amostra com cloro, no sexto gobelé de amostra com biodispersante e no sétimo simulou-se o tratamento da Central Termoelétrica de Lares. Estas três amostras não sofreram agitação, representando assim a estagnação do sistema. Por fim, nos gobelés oitavo e nono apenas se colocou amostra durante 28 dias – com o intuito da formação de *biofouling* - e após a sua formação, adicionou-se cloro (gobelé oitavo) e o tratamento aplicado na Central Termoelétrica de Lares (gobelé nono). Através desta metodologia pretendeu-se verificar quais os efeitos dos diferentes tratamentos quando o sistema está em funcionamento e quando não o está; já com os dois gobelés sem qualquer produto adicionado no início do ensaio, promoveu-se a proliferação de microrganismos para assim perceber qual o efeito dos produtos aplicados no tratamento da água de arrefecimento, nesses mesmos microrganismos.

Na Figura 22 está representado o ensaio realizado.

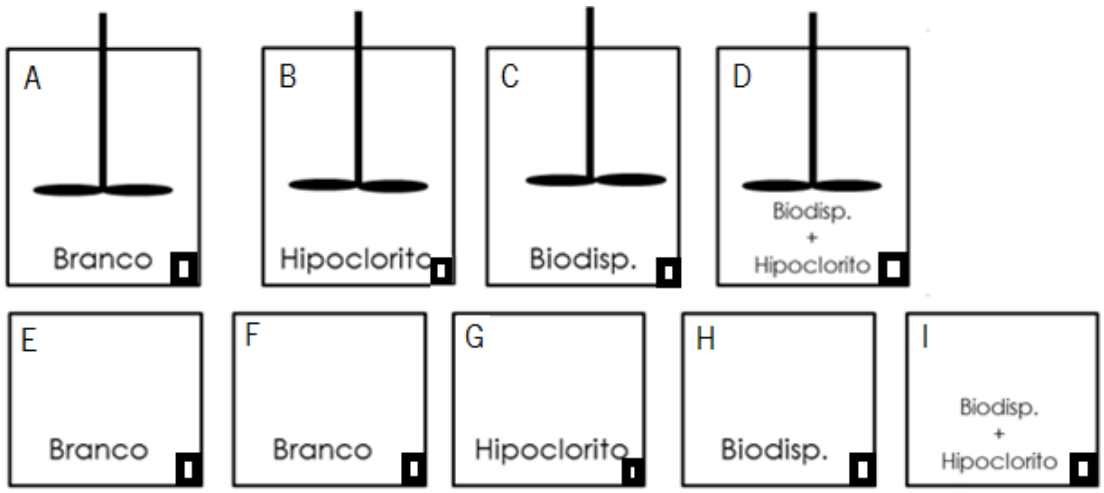

Figura 22. Esquema representativo do ensaio laboratorial.

No processamento do ensaio, foram aplicados durante 10 dias, em todos os recipientes com tratamento, o produto estabelecido no protocolo experimental, para que todas as amostras se encontrassem sempre com as condições inicialmente propostas. Teve-se sempre em especial atenção a concentração de cloro residual livre nas amostras que continham cloro livre, tentando mantê-lo sempre entre 0,5 e 2 mg/L. Do mesmo modo teve-se também em atenção o pH das amostras, tendo este sido

controlado para valores de pH entre 7 e 8,2. Após esse tempo, realizou-se o teste microbiológico para perceber quais os tratamentos que tinham sido eficientes na eliminação e na não formação de *biofouling*.

O controlo microbiológico é levado a cabo através da utilização de MERK 778 Cult-Dip combi, composto por um meio de cultura pronto a incubar, determinando assim o número de bactérias e esporos a uma temperatura de 25 °C.

3.2.4. Resultados

Os dados relativos aos ensaios realizados podem ser encontrados, de forma sistemática, na Tabela 2. Note-se que, na leitura dos resultados, dever-se-á ter em atenção que a presença de microrganismos é demonstrada pela existência da cor vermelha na amostra.

Tabela 2. Resultados do trabalho experimental para estudar o produto biodispersante

Amostra	Designação		Resultado
A	Branco (controlo)	Com agitação	Positivo
B	Adição de hipoclorito de sódio	Com agitação	Negativo
C	Adição de biodispersante	Com agitação	Positivo
D	Adição combinada de hipoclorito de sódio e biodispersante	Com agitação	Positivo (erro humano)

Amostra	Designação			Resultado
E	Branco (controlo) com posterior adição de hipoclorito	Antes de tratada	Sem agitação	Positivo
		Depois de tratada	Sem agitação	Positivo
F	Branco (controlo) com adição combinada	Antes de tratada	Sem agitação	Positivo
		Depois de tratada	Sem agitação	Negativo
G	Adição de hipoclorito		Sem agitação	Negativo
H	Adição de biodispersante		Sem agitação	Positivo
I	Adição combinada		Sem agitação	Negativo

3.2.5. Discussão dos Resultados

No que respeita aos resultados obtidos nos ensaios realizados quanto ao efeito do produto biodispersante, pode perceber-se com exatidão a amplitude da sua ação no processo de tratamento do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares.

De seguida, serão analisados os resultados referentes à simulação do sistema de arrefecimento em funcionamento, realizando-se os ensaios sob regime agitado.

No ensaio A, procurou-se simular as condições em que não existem tratamento (controlo); verificando-se, na figura referente ao ensaio A, a quantidade de microrganismos presente em todas as amostras (dinâmicas e estáticas) caso estas não sofressem qualquer tratamento. A partir do resultado deste ensaio, podem ser observados quais os efeitos dos diferentes tratamentos, realizados nos demais ensaios.

No ensaio B há adição de hipoclorito de sódio, não se verificando a presença de bactérias. Verifica-se que o hipoclorito é um biocida eficaz uma vez que não é visível a presença de qualquer unidade formadora de colónia de bactéria.

Já no ensaio C constata-se a presença de bactérias. Depreende-se portanto que o biodispersante não tem capacidade biocida, isto é, o biodispersante tem a capacidade para desagregar o *biofouling*, não tendo contudo a capacidade de eliminar as bactérias. Comparativamente à amostra A é possível observar que as unidades formadoras de colónia de bactéria são de menor diâmetro e encontram-se mais dispersas pela placa do meio de cultura comprovando assim o efeito do biodispersante.

No ensaio D, o pretendido foi estudar o efeito combinado da utilização do biodispersante e do hipoclorito de sódio como biocida, sendo este o tratamento adotado na Central Termoelétrica de Lares. Devido ao incumprimento do protocolo não é possível aferir com precisão este efeito conjugado, uma vez que o cloro residual livre não foi controlado durante três dias do ensaio. Quando o teste microbiológico foi efetuado o residual livre de cloro desta amostra tinha um valor de 0,36 mg/L encontrando-se fora do intervalo mínimo residual de 0,5 mg/L, necessário para existir desinfeção. Devido a isto, o meio de cultura apresentou um controlo positivo para a presença de bactérias. Porém é de denotar que é possível contar menos unidades formadoras de colónia do que aquele observado na amostra do ensaio C, que apenas continha biodispersante e nenhum biocida. Este facto infere que o hipoclorito de sódio é essencial para a eliminação da atividade bacteriana da corrente de arrefecimento do sistema.

Na próxima fase do estudo procurou-se perceber o efeito destes agentes químicos em sistema estático (não agitado), correspondendo assim ao estado de inoperação do sistema de arrefecimento.

As amostras E e F foram sujeitas a duas condições de operação: num primeiro momento as amostras permaneceram incubadas 28 dias em branco; após este período, à amostra E foi adicionado hipoclorito de sódio, e à amostra F produto biodispersante e hipoclorito de sódio. No momento da adição ambas as amostras possuíam *biofouling* formado, mas no final só a amostra E continha bactérias viáveis. Este dado leva a concluir que em sistema estático, nas condições de formação de *biofouling*, o hipoclorito de sódio por si só não é eficaz na eliminação total da carga microbiana. Assim nestas condições de operação justifica-se a utilização do biodispersante. Esta consideração viu-se também reforçada pelos resultados obtidos através dos ensaios G e H.

Assim, a amostra G que continha apenas hipoclorito de sódio desde o momento inicial de incubação, não apresenta unidades formadoras de colónia, demonstrando a eficácia do hipoclorito de sódio em sistemas sem *biofouling* formado.

Já a amostra H que continha apenas biodispersante desde o momento inicial de teste, tal como a sua congénere sob agitação (amostra C), no final do período de incubação contem bactérias viáveis. Com este fato, conclui-se que independentemente do regime o uso do biodispersante por si só não permite eliminar a carga bacteriana da água do sistema de arrefecimento.

Por sua vez, nas condições em que existe a ação combinada do hipoclorito de sódio e do biodispersante não existem bactérias viáveis (amostra I).

Com o finalizar de todos os ensaios, foi possível concluir que o biodispersante não tem capacidade para agir como desinfetante, agindo como auxiliar do hipoclorito de sódio sempre que existe formação de *biofouling* – permitindo, através da sua ação, que as células bacterianas sejam removidas das superfícies onde podem estar agregadas para assim proceder-se à desinfeção. Com tudo o que foi exposto, afigurou-se também que o hipoclorito de sódio é um desinfetante eficaz em qualquer estado de funcionamento do sistema, desde que não exista formação prévia de *biofouling*.

Assim, conclui-se que o tratamento aplicado na Central Termoelétrica de Lares é eficaz. Contudo, após o estudo realizado, verifica-se a não necessidade da utilização do produto biodispersante no tratamento, desde que se mantenha o residual de cloro livre suficiente para a desinfeção e limpeza do sistema, não permitindo por este meio a formação de *biofouling*.

3.3. Hipoclorito de sódio

3.3.1. Propósito

Como já se referiu neste trabalho, para que exista um bom funcionamento do sistema de arrefecimento, é necessário que este se mantenha limpo. Para tal, existe um programa de desinfeção com o intuito de evitar o sujamento biológico. O objetivo do processo de desinfeção de uma água é também reduzir o risco para a saúde pública, através da eliminação e minimização da presença de microrganismos patogénicos, abarcando um vasto leque de organismos, nomeadamente bactérias, vírus e outros. Note-se que, ao contrário da esterilização, a desinfeção não garante a destruição completa de bactérias, esporos e vírus (Alves, 2010).

A desinfeção pode ocorrer por meios físicos ou químicos. Os meios físicos mais utilizados são o calor, a luz solar (radiação UV), meios mecânicos (filtração por membranas, sedimentação e precipitação química), radiação eletromagnética, acústica e UV. Já nos meios químicos usados para desinfeção, tem-se os halogéneos (cloro, bromo e iodo), sendo o cloro o mais utilizado: ele e os seus derivados (ClO_2, cloraminas, etc.) são germicidas, atuando também na eliminação de cheiros e sabores, favorecendo a oxidação do ferro, do manganês e do H_2S. Por questões económicas, os desinfetantes químicos são os mais utilizados e o cloro predomina no tratamento de água (Brito et al, 2010).

Os desinfetantes devem possuir toxicidade para os microrganismos mas, em simultâneo, não podem ser tóxicos para os consumidores indiretos (sejam eles seres animais ou vegetais) nas concentrações em que são aplicados para o tratamento. Estes agentes de tratamento devem possuir um coeficiente de morte celular elevado e uma ação efetiva na prevenção do reaparecimento dos microrganismos nos sistemas de distribuição. Caracteristicamente, os desinfetantes devem ser solúveis em água e/ou nos tecidos celulares, ser estáveis e uniformes na composição, devem desodorizar e desinfetar em simultâneo e por outro lado, não devem ser corrosivos. Do ponto de vista económico, eles deverão representar o menor custo possível para a empresa, uma vez que correspondem a uma grande parte do sistema de tratamento das águas.

O desinfetante não atua *de per si*: ele está condicionado não só pelo tempo de contacto, como pela concentração, intensidade, natureza e tipo de agente químico; é ainda afetado pela temperatura, pelo número e tipo de organismos (os esporos são mais resistentes), pela natureza do solvente de suporte do desinfetante, pelos sólidos em suspensão e matéria orgânica, que têm um efeito retardatário na atuação do desinfetante e, por fim, pelo pH.

No programa de desinfeção, a destruição possível dos microrganismos não ocorre instantaneamente, obedecendo a uma cinética que pode ser representada por uma relação de primeira ordem denominada por lei de Chick (Equação 9). Esta, integrada entre t_0 e t, permite a obtenção da Equação 10. No entanto, devido a razões diversas sejam elas: a existência de períodos de latência anteriores ao efeito tóxico; a presença de impurezas e derivadas reações paralelas; a anormal homogeneização e as concentrações localizadas de microrganismos – a lei de Chick, na prática, nem sempre é verificada. Em ambas as equações: t representa o tempo de contacto; N é o número de organismos no tempo t; N_0 é o número de organismos no tempo t_0; e k é o coeficiente de morte.

$$-\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = kN \leftrightarrow -\frac{\mathrm{d}N}{N} = k\,\mathrm{d}t \qquad \text{(Equação 9)}$$

$$-\int_{N_0}^{N}\frac{\mathrm{d}N}{N} = \int_{t_0}^{t} k\,\mathrm{d}t \leftrightarrow \ln\frac{N}{N_0} = -k\,(t - t_0) \qquad \text{(Equação 10)}$$

Ao processo de desinfeção com cloro dá-se a denominação de cloragem ou cloração. Em soluções aquosas, no que respeita à química do cloro, as reações de hidrólise (Equação 11) e dissociação (Equação 12) são as mais importantes. As três espécies cloradas inorgânicas (cloro livre ou ativo) – cloro (Cl_2), ácido hipocloroso (HOCl) e ião hipoclorito (OCl^-) – têm, pela ordem apresentada, um poder desinfetante decrescente.

$$\mathrm{Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HOCl + H^+ + Cl^-} \qquad \text{(Equação 11)}$$

$$\mathrm{HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^-} \qquad \text{(Equação 12)}$$

Na água, encontra-se o cloro quer na forma de residual livre (Cl_2, HOCl, OCl^-) – sendo este a quantidade de cloro ativa na amostra (que não reagiu com agentes orgânicos) –, quer na forma residual combinado ou ligado (cloraminas e compostos clorados) – sendo esta correspondente à quantidade de cloro que reagiu com agentes orgânicos. O cloro total, não é mais do que a soma dos residuais de cloros acima referidos. Já a quantidade de cloro necessária para reagir com todas as impurezas presentes na água apelida-se de carência de cloro.

Num local onde se promove a desinfeção de água, devem-se verificar determinados cuidados para prevenir e/ou minimizar a existência de zonas estagnadas de forma a otimizar a mistura e o tempo de contacto entre a amostra (água) e a dosagem de cloro. Para tal é desejável o uso de injetores/difusores, misturadores mecânicos e ressaltos hidráulicos.

Na desinfeção com cloro, os produtos secundários são por via de regra, a maior preocupação uma vez que normalmente são indesejáveis possuindo uma ação mutagénica e/ou cancerígena.

Para proceder à desinfeção é correntemente utilizado o hipoclorito de sódio (NaOCl) na sua forma economicamente mais vantajosa. Este produto vê a sua eficácia reduzida pelo passar do tempo, sendo recomendável por isso que seja conservado a baixa temperatura, sendo desejável o seu consumo num prazo de quatro meses.

Uma nota final para referir que a remoção do excesso de cloro residual de água pode ser levada a cabo por redução química com SO_2, $NaHSO_3$ (bissulfito de sódio), Na_2SO_3 ou $Na_2S_2O_3$ (tiossulfato de sódio), por adsorção em carvão ativado ou por arejamento a pH adequado.

Outros Desinfetantes

Para operar ao programa de desinfeção, é o hipoclorito de sódio o reagente químico preferencial devido às suas características e concomitantes repercussões na indústria. No entanto, não é este o único desinfetante possível, existindo outros designadamente:

A **cal clorada** ($CaCl(OCl)$) possui uma composição de 70 % de cal clorada, 20 % de $Ca(OH)_2$ (cal hidratada) e algum carbonato. Contém, geralmente, 30 % a 35 % de cloro ativo e as aplicações são semelhantes às do hipoclorito de sódio.

O **hipoclorito de cálcio** ($Ca(OCl_2)$) é, comercialmente, um produto com 65% a 70% de cloro ativo. Comporta-se de forma semelhante ao do NaOCl.

O **dióxido de cloro** (ClO_2) utiliza-se com o intuito de eliminar cheiros e sabores, sendo um bom desinfetante. Não forma cloraminas mas pode formar cloritos e cloratos (tóxicos para $C > 0,1$ mg/L). É, por isso, recomendável passar a água tratada com este químico por carvão ativado. As soluções aquosas são bastante estáveis e seguras. Este produto encontra-se na forma gasosa, sendo por isso instável e explosivo.

O **bromo** e o **iodo** têm uma boa capacidade de desinfeção. Em água, o comportamento do primeiro é idêntico ao do cloro, mas com menor eficácia e os efeitos secundários não são tão conhecidos, embora existam alguns microrganismos resistentes ao cloro que são eliminados pelo bromo, uma vez que este detém um poder algicida muito superior e um incremento superior quanto ao efeito da temperatura no seu poder desinfetante. Já o iodo tem um menor poder oxidante, em relação ao cloro, bem como uma menor solubilidade em água e uma menor extensão de hidrólise que o cloro, tendo contudo a vantagem de não ser tóxico para os humanos nas concentrações usadas.

O **ozono**, no programa de desinfeção, tem características bactericidas superiores às do cloro e a sua atuação não é influenciada pelo pH. Este também oxida a matéria orgânica e os redutores

inorgânicos, sendo uma boa alternativa para remover sabores, cheiros e cor. Quanto a inconvenientes, o ozono não permite concentrações residuais de desinfetante que acautelem uma nova contaminação. As doses típicas de ozono a aplicar na amostra vão de 0,1 mg/L a 5 mg/L. Para reduções de vírus de 99,9%, o tempo de contacto varia de 0,3 min mg/L a 1 min mg/L, sendo menor para bactérias e mais elevadas para giárdia.

Na utilização da **radiação UV** para desinfeção pratica-se a exposição de uma película de água a uma luz proveniente de uma lâmpada de vapor de mercúrio, emitindo na gama de comprimentos de onda entre os 180 nm e os 360 nm, sendo a máxima eficiência a 254 nm, com lâmpadas de mercúrio de baixa pressão monocromáticas. No que toca a bactérias e vírus esta metodologia de desinfeção é muito eficaz e não provoca problemas de odor nem de sabor.

Finalizando, à desinfeção através de **permanganato de potássio** ($KMnO_4$) só se recorre caso se pretenda agregadamente a supressão de cheiros e sabores. As suas propriedades desinfetantes são muito eficazes, sendo no entanto economicamente de difícil utilização (Brito et al, 2010).

3.3.2. Proposta de controlo

Por tudo o que foi apurado com o trabalho experimental desenvolvido, pode concluir-se que para que esteja garantida a desinfeção total da água de arrefecimento é necessário que exista uma concentração de hipoclorito de sódio de 0,5 mg/L. Não esquecendo que 2 mg/L será a concentração máxima para que este produto químico não se torne corrosivo para os equipamentos (Gubar & Kozlova, 1967), foi assim traçada a amplitude referente à concentração do hipoclorito de sódio no sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares: entre 0,5 e 2 mg/L tem-se o intervalo ideal de desinfeção.

Para garantir que estes valores referenciais são sempre observados, propõe-se a instalação de um aparelho de monitorização e controlo em contínuo dos valores de cloro residual livre em ambas as bacias. Estes instrumentos, com microprocessador, são capazes de monitorizar continuamente a concentração de cloro numa instalação. Seguidamente opera-se à sua programação (Anexo E) com vista à automatização da injeção de hipoclorito de sódio.

Desta forma consegue garantir-se a total desinfeção da água de arrefecimento sem o gasto excessivo de matéria-prima.

3.4. Outros produtos adicionados

3.4.1. Ácido clorídrico

O ácido clorídrico é, como o próprio nome índica, um ácido. Correspondendo à solução aquosa do cloreto de hidrogénio (HCl), ele poderá ter uma importante função no que à regulação do pH diz respeito: estando perante uma amostra ele agirá baixando o seu pH. Devido a estas características, este produto tem utilizações industriais e domésticas (por exemplo: tratamentos de água de piscinas).

Apesar de todos os benefícios que este produto pode trazer com a sua utilização, é necessário ter em consideração que em valores elevados de concentração (quer em solução quer através dos vapores de ácido clorídrico) pode ter um efeito corrosivo no tecido humano, podendo até danificar órgãos do corpo nomeadamente a pele e intestinos; também as suas consequências ambientais devem ser tidas em atenção uma vez que, com a reação dele com químicos oxidantes comuns pode levar à produção de gás tóxico (Alves, 2010).

No caso da Central Termoelétrica de Lares, mais concretamente no seu sistema de arrefecimento, é utilizado este produto com uma concentração a 33%, com o intuito de regular o pH da água do sistema de arrefecimento de forma a manter os valores de pH dentro da gama ótima para uma boa desinfeção (7 e 8,2). Para tal, o sistema está programado para, assim que o pH exceda o valor de 8,2, o ácido clorídrico seja automaticamente injetado.

Note-se que existe uma relação direta entre o hipoclorito de sódio e o ácido clorídrico. Esta relação deve- se às características e às funcionalidades destes dois produtos químicos, uma vez que ambas estão interligadas. Assim, quando são adicionadas grandes quantidades de hipoclorito de sódio para o tratamento da água, o pH aumenta, podendo mesmo exceder-se as quantidades ótimas para o procedimento da desinfeção. Diretamente, existe a necessidade de adicionar ácido clorídrico para que os valores de pH sejam repostos na gama referida, garantindo assim uma boa desinfeção. Pelo exposto se compreende que caso se aplique o tratamento proposto no que respeita ao controlo do cloro residual livre (nas bacias de arrefecimento) existirá um gasto menor de ácido clorídrico.

No entanto, refira-se que o ácido sulfúrico pode mostrar-se mais vantajoso economicamente do que o ácido clorídrico.

3.4.2. Bissulfito de sódio

O bissulfito de sódio é um produto químico que corresponde à combinação de hidróxido de sódio, hidrogénio, enxofre e oxigénio sendo que estes lhe conferem um aspeto natural de pó branco cristalino; amarelecendo quando em solução. Caracteristicamente detém um pH ácido, detendo variadíssimas funções na indústria como o branqueamento no fabrico de alimento ou a inibição do crescimento bacteriano nas frutas e vegetais. Para o que aqui nos interessa, o bissulfito de sódio é um potente agente de redução usado no tratamento de água.

No tratamento de água de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares utiliza-se a solução aquosa de bissulfito de sódio Spectrus DT1403. As finalidades pretendidas com este uso prendem-se com a eliminação de cloro residual livre antes da descarga efetuada para o rio Mondego. Segundo o DL 236/98, a água que é descarregada para o rio (através de purga, no caso concreto), não pode deter uma concentração superior a 0,5 mg/L. Para que ocorra então a redução de 1 mg/L de cloro residual livre a quantidade a aplicar é de 5 mg/L (BetzDearborn, 2000).

No entanto, caso se aplicasse Spectrus DT1402 reduzir-se-ia para metade a necessidade de aplicação do produto para as finalidades referidas, sendo ambientalmente mais viável (2,5 mg/L para reduzir 1 mg/L) (BetzDearborn, 2000).

Pelo referido constata-se que, mais uma vez, há uma relação direta entre a aplicação de bissulfito de sódio com o hipoclorito de sódio: quanto mais hipoclorito de sódio for adicionado para o tratamento da água de arrefecimento, maior a necessidade de aplicação de bissulfito de sódio uma vez que é através deste que ocorre a redução de cloro residual livre para as concentrações permitidas por lei, para que assim esta possa ser descarregada no meio ambiente. Compreende-se assim, que todo o hipoclorito adicionado para lá do valor residual mínimo (0,5 mg/L) levará a uma injeção de bissulfito no ponto de descarga correspondente à necessidade. Assim, quanto maior a concentração de hipoclorito de sódio maior o gasto de bissulfito de sódio.

Repare-se que pode mostrar-se economicamente mais barato a aplicação de produtos mais baratos, como por exemplo o dióxido de enxofre.

Com o exposto se compreende que existe uma forte necessidade de se aplicar um método de controlo e tratamento para a água de arrefecimento no que toca à injeção do hipoclorito de sódio no processo de desinfeção, sendo que o controlo proposto no subcapítulo 3.3.2 seria o adequado.

4. Estudo económico

Sendo a EDP Produção uma empresa que busca a sustentabilidade em todas as vertentes – ambiental, social e económica -, torna-se claro que há uma procura da redução de consumo de recursos, promovendo assim a preservação do meio ambiente e evitar um gasto económico desnecessário. Como facilmente se antevê, numa atividade industrial são vários os custos associados e poderão (e deverão) ser várias as receitas obtidas. Os recursos consumidos são inúmeros, sejam eles pessoais ou materiais: dentro dos materiais e concretamente na produção de energia elétrica, muitos são os recursos químicos consumidos, correspondendo estes produtos a valores consideráveis no que toca ao processo produtivo.

Com a importância económica que estes produtos detêm, tornou-se necessário realizar o presente estudo onde se analisaram quais os gastos associados ao tratamento da água de arrefecimento ao longo dos últimos quatro anos (de 2010 a 2013) e comparou-se com os gastos do tratamento caso o plano de tratamento proposto nesta dissertação fosse aplicado, sendo certo que o estudo comparativo em causa teve em atenção os valores económicos e os valores correspondentes aos dados volumétricos efetivamente utilizados de produtos químicos, na Central Termoelétrica de Lares.

O estudo realizado neste capítulo teve apenas por base os valores efetivamente gastos. Facilmente se depreende, pelos resultados obtidos, que com a aplicação do tratamento proposto obtém-se uma redução de valores, quer de volume de produtos químicos, quer de valor económico. No entanto, é necessário considerar o tempo reduzido relativo à duração da realização deste estudo - três meses. Note-se que é um intervalo de tempo algo reduzido para aferir quanto à conformidade destes valores ao longo de todo o ano, considerando a existência de fatores externos, como por exemplo alterações climatéricas e outros fenómenos, que podem ter influência na água de compensação. Por isso, o facto de não se ter efetuado este estudo em diferentes épocas do ano poderá ter influência na água de compensação a utilizar no tratamento. Também é de referir que os consumos seguidamente apresentados dizem respeito aos primeiros anos da Central, sendo por isso uma amostragem um pouco inconstante uma vez que os ajustes referentes ao "arranque" da instalação estão compreendidos numa amplitude bastante abrangente, considerando que só agora se poderá ter atingido aquilo que se espera ser a normalização dos processos. Sublinha-se também os imprevistos e falhas do sistema automatizado, assim como os danos em alguns tanques de armazenamento que podem ter sido responsáveis por um consumo mais elevado do que o necessário.

Na Tabela 3 apresenta-se a informação relativa ao volume de produtos químicos consumido nos últimos anos, sendo estes valores referentes ao tratamento atualmente utilizado na Central Termoelétrica

de Lares. Na Tabela 4, estão expostos os valores referentes ao consumo do volume caso o tratamento proposto estivesse em prática.

Tabela 3. Volume gasto de produtos químicos com o tratamento atual até 2013

	Volume (m^3)				
Ano	2010	2011	2012	2013	TOTAL
Hipoclorito de sódio	38,395	71,084	39,355	36,817	185,651
Anti-Incrustante	4,655	2,703	0	0	7,358
Ácido clorídrico	146,813	201,61	117,626	65,867	531,916
Biodispersante	2,706	0,92	0,92	0	4,546
Bissulfito de sódio	0,76	3,61	3,75	3,75	11,870
Anti-Espuma	0,238	0,714	0,119	0	1,071
TOTAL	193,567	280,641	161,770	106,434	**742,412**
Média anual	**185,603**				

Tabela 4. Volume gasto de produtos químicos com o tratamento proposto até 2013

	Volume (m^3)				
Ano	2010	2011	2012	2013	TOTAL
Hipoclorito de sódio	32,636	59,000	33,058	32,399	157,092
Anti-Incrustante	0	0	0	0	0
Ácido clorídrico	124,791	167,336	98,806	57,963	448,896
Biodispersante	0	0	0	0	0
Bissulfito de sódio	0,646	2,996	3,150	3,300	10,092
Anti-Espuma	0,238	0,714	0,119	0	1,071
TOTAL	158,311	230,046	135,133	93,662	**617,152**
Média anual	**154,288**				

Como é possível observar, com a utilização do tratamento atual, no período referido acima, foram consumidos cerca de 750 m^3 de produtos químicos (com a repartição observada na Tabela 3), o que se traduz numa média anual de cerca de 185 m^3. Como verificado, os produtos mais utilizados são o hipoclorito de sódio bem como os que são dependentes da utilização deste (ácido clorídrico e bissulfito de sódio). Este resultado seria espectável na medida em que o hipoclorito é o produto primordial no processo de desinfeção: é adicionado no sistema de arrefecimento todos os dias (mínimo duas vezes por dia) e são os seus valores de concentração que servem de referencial para a utilização dos demais produtos com ele diretamente relacionados.

No que respeita aos demais produtos a aplicar no tratamento da água de arrefecimento (anti-incrustante e biodispersante), estes não são obrigatoriamente adicionados diariamente: o anti-incrustante é adicionado quando a torre de arrefecimento se encontra em funcionamento e o biodispersante é adicionado semanalmente.

Quando analisados os volumes despendidos com a aplicação do tratamento proposto (Tabela 4), o consumo de produtos químicos seria aproximadamente 620 m^3, correspondendo a uma média anual de 155 m3. Não haveria necessidade de injeção de anti-incrustante e, partindo do princípio que não há formação de *biofouling*, dada a garantia da desinfeção do sistema de arrefecimento, não existiria também necessidade de injetar biodispersante. Quanto ao hipoclorito de sódio ter-se-ia também uma redução de, pelo menos, 15% através do controlo proposto neste estudo. Este facto deve-se à percentagem observada de valores de residual livre de cloro superiores a 2 mg/L, obtidos nos últimos 4 anos. Tendo em conta a relação existente, pode afirmar-se também que haveria uma redução, de no mínimo 15%, nas quantidades utilizadas de ácido clorídrico e bissulfito de sódio.

Pode concluir-se, pelo exposto, que a aplicação da proposta de tratamento da água de arrefecimento descrita nesta dissertação consegue evitar, num intervalo de 4 anos, o desperdício de cerca de 30 m^3 de hipoclorito de sódio, 8 m^3 de produto anti-incrustante, 85 m^3 de ácido clorídrico, 5 m^3 de produto biodispersante e 2 m^3 de bissulfito de sódio. No total, ao longo de 4 anos prevê-se uma diminuição de desperdício na ordem dos 125 m^3, tendo em média uma redução de cerca de 32 m^3 por ano, caso se comprovasse a não necessidade da utilização dos produtos referidos em todo o ano.

Já no que respeita às vantagens económicas da aplicação deste tratamento, também estas seriam consideráveis. Abaixo encontram-se os valores relativos ao custo do tratamento atualmente aplicado (Tabela 5) e os valores relativos aos gastos económicos caso o tratamento proposto fosse aplicado (Tabela 6).

Tabela 5. Custo económico gasto em produtos químicos com o tratamento atual até 2013

	Valor (€)				
Ano	2010	2011	2012	2013	TOTAL
Hipoclorito de sódio	5759,25	10662,60	5903,18	5522,51	27847,54
Anti-Incrustante	26865	15599,59	0	0	42464,59
Ácido clorídrico	10442,07	14339,51	8366,14	4684,76	37832,48
Biodispersante	13475,88	4581,60	4581,60	0	22639,08
Bissulfito de sódio	874	4151,50	4312,50	4312,50	13650,50
Anti-Espuma	1028,16	3084,48	514,08	0	4626,72
TOTAL	58444,36	52419,28	23677,50	14519,77	**149060,90**
Média Anual	**37265,23**				

Tabela 6. Custo económico gasto em produtos químicos co m o tratamento proposto até 2013

	Valor (€)				
Ano	2010	2011	2012	2013	TOTAL
Hipoclorito de sódio	4895,36	8849,96	4958,67	4859,81	23563,80
Anti-Incrustante	0	0	0	0	0
Ácido clorídrico	8875,76	11901,79	7027,56	4122,59	31927,70
Biodispersante	0	0	0	0	0
Bissulfito de sódio	742,90	3445,75	3622,50	3795	11606,15
Anti-Espuma	1028,16	3084,48	514,08	0	4626,72
TOTAL	15542,18	27281,98	16122,81	12777,40	**71724,36**
Média Anual	**17931,09**				

Como observado na Tabela 5, desde 2010 até 2013 gastou-se um total de cerca de 150 mil euros (cerca de 37 mil euros por ano) nos produtos analisados: o produto anti-incrustante foi o grande responsável deste elevado valor, representando cerca de 30%; seguindo-se o biodispersante, devido ao seu valor de mercado elevado. No entanto, como se pode verificar tabela, estes foram os produtos menos gastos, mas correspondem a uma grande parte no que ao valor económico dos produtos químicos diz respeito.

Após a análise, com a aplicação do tratamento proposto neste estudo (Tabela 6), verifica-se que caso este fosse posto em prática, evitar-se-ia um gasto de, pelo menos, 65 mil euros; sendo certo que nesta proposta de tratamento não existe necessidade da utilização quer de produto anti-incrustante, quer de produto biodispersante. Ainda com a redução da adição de hipoclorito de sódio (na ordem dos 15%) e com a consequente redução dos produtos diretamente dependentes deste, conseguiria reduzir-se, desde 2010 a 2013, para cerca de 72 mil euros, o custo económico dos produtos químicos para tratamento da água de arrefecimento, eliminando assim um desperdício (ao longo dos últimos 4 anos) de cerca de 77,5 mil euros. Por ano, com a aplicação do tratamento proposto, o custo de aquisição dos produtos químicos utilizados no processo de tratamento de água do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares seria cerca de 18 mil euros. Como resultado da análise económica, verifica-se que existiriam vantagens na aplicação do tratamento proposto, representando, em comparação com o atualmente praticado, uma redução até 20 mil euros, caso fosse comprovado que para o tratamento ser eficiente não há a necessidade de aplicar anti-incrustante e biodispersante, e realmente fosse possível a redução do volume de hipoclorito e seus produtos dependentes.

Pode então afirmar-se que, tendo por base a política de desenvolvimento sustentável adotada pela EDP, o tratamento proposto nesta dissertação é o mais adequado a utilizar nas bacias da torre de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares, uma vez que possibilita a redução, no tratamento, de 17% no volume gasto de produtos químicos e uma redução de mais de metade (cerca de 52%) no que respeita aos custos económicos associados ao mesmo tratamento.

5. Considerações Finais

5.1. Conclusões

O objetivo principal que orientou este estudo prendia-se com a otimização da injeção de produtos químicos nas bacias da torre de arrefecimento, desempenhando estes produtos uma função fulcral no tratamento da água de arrefecimento e consequentemente no bom funcionamento do sistema de arrefecimento e processo produtivo de energia elétrica.

Com vista à concretização do objetivo principal realizou-se, durante um período de três meses, um estudo individual de cada produto químico aplicado no tratamento acima referido, a saber: hipoclorito de sódio, ácido clorídrico, bissulfito de sódio, biodispersante e anti-incrustante. Após a análise global, compreendendo análise de dados numéricos relativos aos valores utilizados, bem como trabalhos laboratoriais, conclui-se que existe uma sobredosagem na aplicação dos produtos químicos adicionados ao tratamento e que alguns deles poderiam até ser suprimidos deste, desde que verificadas determinadas condições.

Assim, quanto ao hipoclorito de sódio conclui-se através da análise do histórico de um ano (2013) que em 15% dos valores verificados o residual de cloro livre se encontrava acima do valor máximo do intervalo relativo a este, proposto neste estudo – 2 mg/L. Isto significa que existe uma sobre adição deste composto em, pelo menos,15% de volume.

Com relação direta ao hipoclorito de sódio tem-se dois outros produtos químicos - o ácido clorídrico e o bissulfito de sódio. Certamente se compreenderá que se existe uma adição excessiva de hipoclorito ela também está patente nestes dois compostos. Por aproximação, conclui-se que existirá também aqui uma sobre adição de compostos químicos, na mesma ordem de grandeza do hipoclorito de sódio.

Outro produto que esteve em análise foi o biodispersante. Após a simulação do tratamento aplicado na Central Termoelétrica de Lares, num ambiente laboratorial; bem como o estudo em paralelo de um tratamento da água do sistema de arrefecimento em que apenas se usou o hipoclorito de sódio, mantendo-se sempre um residual de cloro livre situado entre 0,5 e 2mg/L (intervalo proposto acima) e valores de pH entre 7 e 8,2 conclui-se que ambos são eficazes na eliminação de microrganismos. Apurou-se assim, que uma vez verificadas as condições deste tratamento proposto, o biodispersante pode ser retirado do plano de tratamento da água de arrefecimento. Note-se que no caso de ocorrência de contaminação microbiológica no sistema de arrefecimento, existe a necessidade de aplicação deste composto.

No que respeita ao último produto químico em estudo, o anti-incrustante, os resultados obtidos no que diz respeito ao *IS*, permitiram concluir que a água que serve de abastecimento ao sistema de

arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares (água de compensação) detém características muito particulares: existem concentrações diferentes de água doce e de água salgada, dependentes da maré, devido à localização da Central. Assim, a água de compensação não permite que existam condições para a formação de incrustações no sistema de arrefecimento, uma vez que nunca foram apuradas tendências incrustantes ao longo do estudo, sendo por isso dispensável o uso de anti-incrustante. Refira-se que as amostras que permitiram chegar a esta conclusão foram recolhidas durante três meses e que, estando o *IS* dependente das características da água de compensação, estas podem ser influenciadas por diversos fatores ao longo do resto do ano.

Um último reparo para se dizer que esta otimização levará a poupanças – quer ambientais, pelo uso reduzido e desuso de alguns produtos químicos; quer económicos – em consequência do exposto. Através deste estudo, caso se comprove que não há a necessidade de aplicação dos produtos acima referidos e que pode haver a redução dos produtos restantes, foi possível percecionar uma poupança na utilização de produtos químicos até os 32 m^3 por ano, traduzindo-se numa poupança até 20 mil euros anuais. Assim, com este novo tratamento proposto estamos perante uma redução anual até 17% no que respeita ao volume gasto, face ao tratamento atualmente praticado na Central, manifestando-se numa redução até 52% referente ao valor monetário.

5.2. Sugestões de Trabalho Futuro

Com o finalizar do estudo compreende-se que existem ainda procedimentos a efetuar para que se tenha uma otimização efetiva do tratamento da água do sistema de arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares. Para isso sugere-se então a automatização da injeção de hipoclorito de sódio nas bacias de arrefecimento, com o objetivo de controlar o valor de residual de cloro livre de forma contínua, permitindo assim a eliminação do produto biodispersante do tratamento. Sugere-se também um estudo ao longo de, pelo menos, um ano no que toca ao valor de *IS* apresentado pela água de arrefecimento de forma a perceber-se se esta não é influenciada, de alguma forma, por fatores externos, de forma a se poder proceder à eliminação do produto anti-incrustante devido às características da água. Ainda neste âmbito, sugere-se que se simule uma instalação piloto ao longo de algum tempo de forma a verificar, visualmente a ausência de incrustação.

Quanto aos outros aspetos da torre de arrefecimento da Central, podem ainda realizar-se estudos com vista à melhoria contínua do seu funcionamento. Seria conveniente realizar então um novo estudo respeitante à quantidade de ventiladores em funcionamento: devido às condições climatéricas (temperatura ambiente) variarem de estação para estação, tem-se que poderá não haver necessidade de um número tão elevado de ventiladores (em funcionamento) durante o inverno quanto aquele que é utilizado no verão.

Ainda quanto à torre de arrefecimento, seria interessante estudar o ciclo de concentração ideal, determinando qual a condutividade ótima para a qual é inevitável que haja a purga da água para que o sistema seja eficiente, possibilitando assim uma redução de purgas a efetuar, representando uma poupança quer energética quer de produtos químicos a aplicar.

Uma última sugestão de trabalho futuro se deixa à consideração. Devido à importância do papel do *IS* no estudo relativo ao produto anti-incrustante, seria interessante apurar se existe relação entre este índice e todo o tipo de águas de arrefecimento relacionado com o processo produtivo de energia elétrica, procedendo-se à sua determinação no caso da sua existência.

Estes estudos, em ponderações diferentes, podem levar a poupanças substanciais e a uma sustentabilidade do processo produtivo de energia elétrica.

Bibliografia

Al-Fozan, S. A., & Malik, A. U. (2008). Effect of seawater level on corrosion behavior of different alloys.

Alves, C. (2010). *Tratamento de Águas de Abastecimento 3ª Edição.* Porto: Publindústria.

ASHRAE Standard Committee. (2000). Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems. 4.

Az, M. (2003). Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards. Em *Environmental Geology* (pp. 554-563).

Benoliel, M. J., Diegues, P., & Fernando, A. L. (2012). *Prevenção e Controlo de Legionella nos Sistemas de Água.* Caparica: Instituto Português da Qualidade.

Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition.* Estados Unidos da América.

BetzDearborn. (2000). Chemical Water Treatment Recommendations For Reduction of Risks Associated with Legionella in Open Recirculating Cooling Water Systems.

Brito, A. G., Oliveira, J. M., & Peixoto, J. M. (2010). *Tratamento de Água para Consumo Humano e Uso Industrial.* Porto: Publindústria.

Cabral, P. (2014). *O Gás Natural e os Transportes.* Lisboa.

Centers for Disease Control and Prevention. (22 de Maio de 2014). *Naegleria fowleri - Primary Amebic Meningoencephalitis (PAM)*. Obtido de http://www.cdc.gov/parasites/naegleria/

Cheremisinoff, N. P., & Cheremisinoff, P. N. (1983). *Cooling Towers: Seletion, Design and Practice.* Inglaterra: Ann Arbor Science.

CoolAir International. (2014). *O que é o Arrefecimento Evaporativo do Ar*. Obtido de CoolAir International: http://www.coolair.pt/pt/o-que-e-arrefecimento-evaporativo-do-ar-

CSM. (2010). Prevention of Scale Formation. Em *Technical Manual - Reverse Osmosis Membrane* (pp. 32-37).

Cullimore, D. R. (1986). *IPSCO 1986 Think Tank on Biofilms and Biofouling in Wells and Groundwater Systems.* Canada: Regina, Sask.: Regina Water Research Institute.

Cunha, P. P., Dinis, J., Silva, A. F., & André, J. N. (1995). Evolução Estuarina Condicionada por Intervenções Portuárias: modificações recentes no sector intermédio e distal do Estuário do Mondego. Em *Memórias e Notícias* (pp. 95-117). Coimbra.

Cunha, P. P., Freitas, H., Marques, J. C., Dinis, J., & Caetano, P. (1997). A Protecção e Gestão de Águas Estuarinas – importância da ilha morraceira e do sub-sistema estuarino do porto (Estuário do Mondego, Portugal). Em *Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal* (pp. 473-488). Porto.

Drever, J. I. (1997). *The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments.*

Duarte, A., & Vieira, J. (Março de 2010). Aplicação da modelação matemática ao cálculo de caudais e prismas de maré em sistemas estuarinos. p. 2.

Duarte, A., Vieira, J., Neto, J., & Pardal, M. (2008). Monitorização da Hidrodinâmica e da Qualidade. *Universidade do Minho*, pp. 65-74.

EDP. (2014). Obtido de EDP - Energias de Portugal: http://www.edp.pt/

EDP Produção. (2014). *Centros Produtores*. Obtido de EDP Produção: http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=te&map_type=te

Elliott, M. O. (1990). The Forth estuary: a nursery and overwintering . *Hydrobiologia*.

EnduroSolv. (2014). *Cooling Tower Water Treatment Chemicals*. Obtido de EnduroSolv Responsible Water Treatment: http://www.endurosolv.com/cooling_tower_water_treatment_chemicals

Evans, L. V., & Hoagland, K. D. (1986). *Algal Biofouling.* Elsevier.

Facão, J. (1999). *Comportamento Técnico de Torres de Arrefecimento Indirectas para a Aplicação a Sistemas de Arrefecimento Ambiente.* Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Fondriest Environmental, Inc. (2014). *Fundamentals os Environmental Measurements*. Obtido de Fondriest: http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/

Freitas, B. (2007). *Desenvolvimento e Aplicação de Modelo de Transferência de Calor a Caldeira de Recuperação de Ciclo Combinado.* Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Freitas, F. C. (1984). Acidez e Alcalinidade dos Solos. Lisboa: Comissão Nacional do Ambiente.

Gubar, M. A., & Kozlova, N. D. (1967). Hygienic Assessment of the Decontamination of Drinking Water with Free and Bound Active Chorine. *Gigiena i Sanitariya*.

Haslego, C. (8 de Novembro de 2010). *Cooling Towers: Design and Operation Considerations*. Obtido de The Chemical Engineers Resource: http://www.cheresources.com/content/articles/heat-transfer/cooling-towers-design-and-operation-considerations

Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.*

Instituto Hidrográfico. (2014). *Bóias Ondógrafo*. Obtido de Instituto Hidrográfico: http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php

Instituto Hidrográfico. (2014). *Glossário Científico: Marés*. Obtido de Instituto Hidrográfico: http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php

Lakos (2014). *Para Líquidos de Processo Idustrial.*

Lestina, T. G., & Serth, R. W. (2014). *Process Heat Transfer: Principles, Applications and Rules oh Thumb; Second Edition.* Inglaterra.

Martins, Á., & Santos, V. (2005). *Formulação de Políticas Públicas no Horizonte 2013 relativas ao tema Energia.* Instituto Superior de Economia e Gestão.

McGraw Hill Financial. (2014). Obtido de S&P Dow Jones Indices: http://www.djindexes.com/

Melo, L. F., Bott, T. R., & Bernardo, C. A. (1987). *Proceedings of Fouling Science and Technology.* Holanda: Kluwer Academic Publishers.

Mendonça, L. (2005). Durabilidade de Estruturas de Betão Armado, Degradação do Betão e Corrosão de Armaduras e Importância da Inspecção Periódica . *Arte e Cimento*.

Navarro, V., & Gama, C. (2005). *Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações.*

Oddone, D. (2001). *Cogeração: Uma Alternativa para Produção de Eletricidade.* São Paulo.

OpenStax. (2014). *Faraday's Law of Induction: Lenz's Law*. Obtido de CNX: http://cnx.org/contents/c0672c45-1220-426e-b160-c859b879567d@4/Faraday%E2%80%99s_Law_of_Induction:_Le

Pacheco, M. (2008). *Relatório da Dissertação do MIEM.* Porto.

Peixoto, J. (2012). *Modelação hidrodinâmica tridimensional do estuário do rio Douro.* Braga.

Peña, J., Buil, B., Garralón, A., Gómez, P., Turrero, M. J., Escribano, A., . . . Gómez, M. A. (2009). The vaterite saturation index can be used as a proxy of the S&DSI in sea water desalination by reverse osmosis process. *Elsevier*.

Plasticbages Industrial, S. L. (2014). *Fabricación y Comercialización de Plásticos Técnicos*. Obtido de Plasticbages Industrial, S. L.: http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html

Portal do Ambiente e do Cidadão. (2005). Obtido em Fevereiro de 2014, de http://ambiente.maiadigital.pt/ambiente/mobilidade/mais-informacao-1/sobre-a-mobilidade-em-portugal-e-na-europa-1/combustiveis-alternativos

Real, F. C. (1987). Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000. Lisboa.

Sampaio, F. (2010). *Projeto de uma Torre de Arrefecimento de 3 MW de Potência Térmica.* Porto: Faculdade de Engenharia do Porto.

Science Learning. (2010). *Ocean Salinity*. Obtido de Science Learning: http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/The-Ocean-in-Action/Science-Ideas-and-Concepts/Ocean-salinity

Sluiter, A., Hames, B., Sluiter, J., Templeton, D., & Wolfe, J. (2008). *Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids iin Liquid Process Samples.* National Renewable Energy Laboratory.

Stanford, H. W. (2003). HVAC Water Chillers and Cooling Towers - Fundamentals, Application and Operation. *Marcel Dekker Inc.*

Teixeira, F., Pereira, I., Santos, R., & Beleza, V. (1997). *Tratamento de Águas de Refrigeração.* Porto: Instituto Politécnico do Porto.

U.S. Departament of Energy. (2014). *How Gas Turbine Power Plants Work*. Obtido de Office of Fossil Energy: http://energy.gov/fe/how-gas-turbine-power-plants-work

World Health Organization. (2003). *Ammonia in Drinking-water.* Suiça.

Yang, C. Y., Chang, C. C., Tsai, S. S., & Chiu, H. F. (2006). Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from acute myocardial infartion in Taiwan. Em *Environmental Research* (pp. 1193 - 1200).

Zeebe, R. (2009). *Marine Carbonate Chemistry*. Obtido de The Encyclopedia oh Earth: http://www.eoearth.org/view/article/154468/

Anexos

A. Determinação do *K* para cálculo do *S&DIS*.

Para se determinar o valor de *K* a considerar na Equação 7 recorre-se à Figura 23.

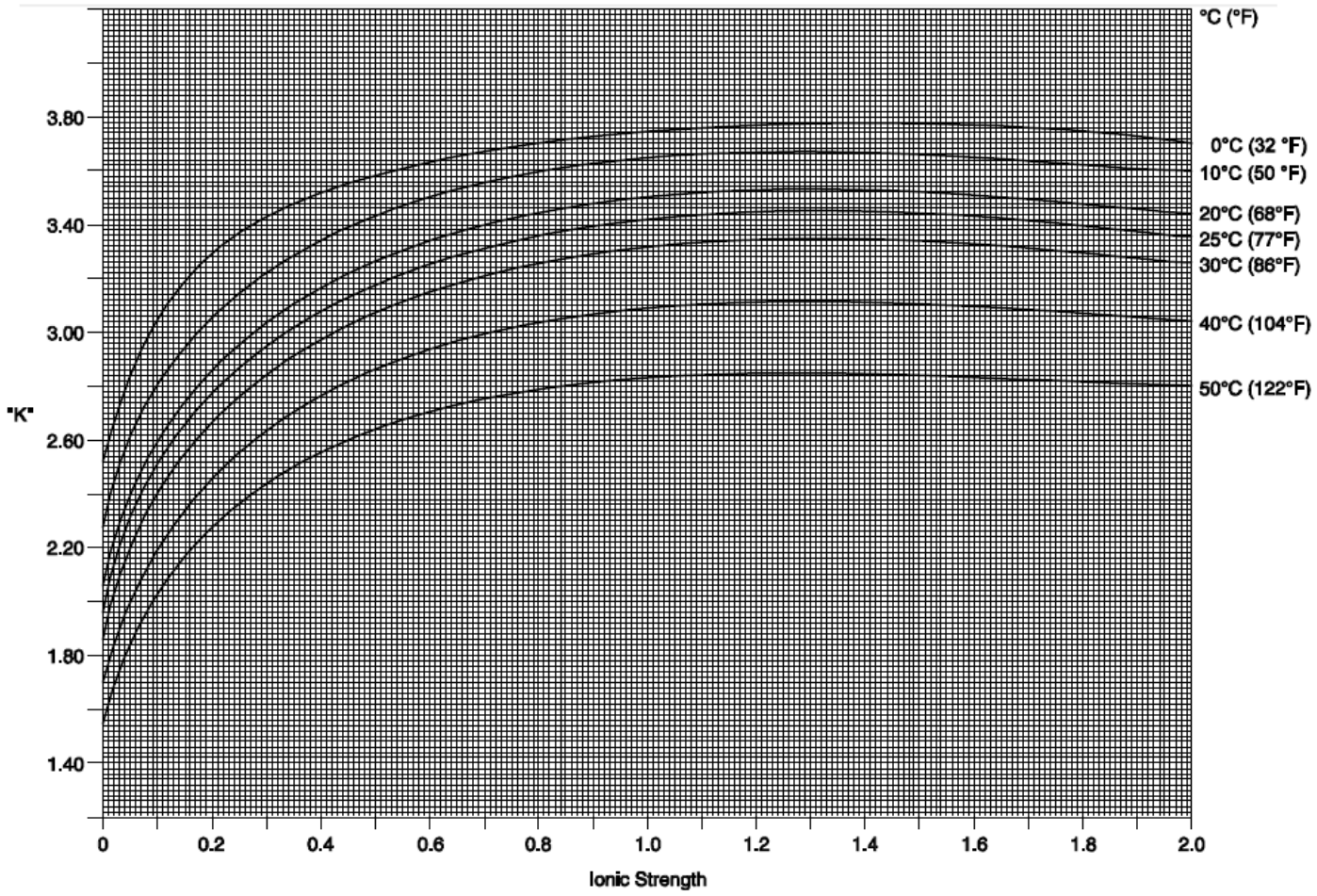

Figura 23. Diagrama para determinação do K.

B. Determinação da Dureza Cálcica

O estudo para determinar a dureza cálcica existente nas amostras consistiu na recolha de água do rio Mondego com variados valores de condutividade (devido à variação das marés), e na determinação da sua dureza total e cálcica, sendo esta última obtida depois de adquiridos os reagentes necessários.

Posteriormente, determinou-se a percentagem de cálcio existente na água relativamente à dureza total (dividindo a dureza cálcica obtida pela dureza total da água), tendo concluído que a percentagem de cálcio vai diminuindo à medida que a condutividade aumenta (Figura 24).

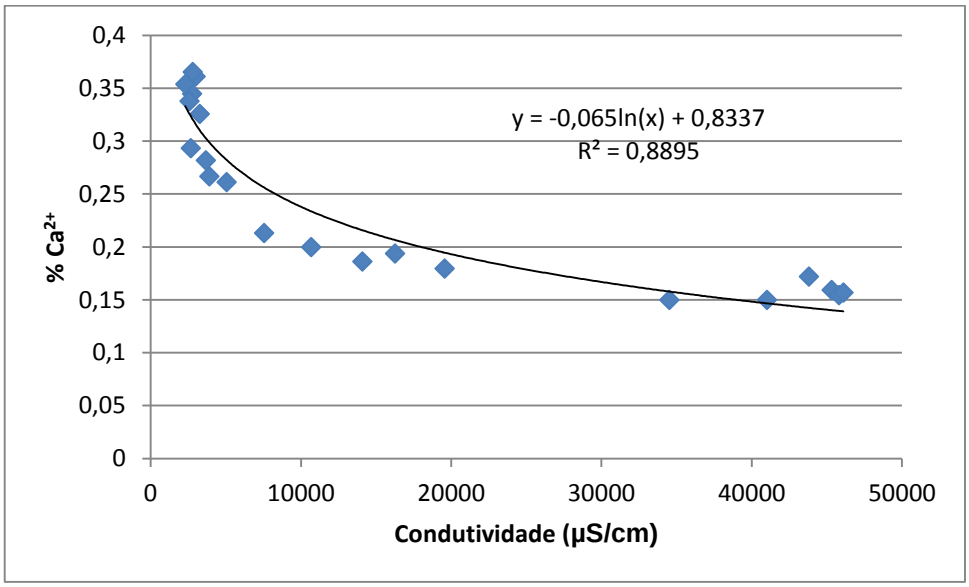

Figura 24. Determinação da dureza cálcica.

Para determinar a concentração de cálcio existente na água do rio, influenciada pela água salgada, multiplica-se o fator de cálcio existente pela dureza total da água. Assim:

$$\frac{Ca^{2+}}{\frac{\text{mg}}{\text{L}}(CaCO_3)} = \left(-0{,}065 \times \ln\left(\frac{\text{Condutividade}}{\mu\text{S/cm}}\right) + 0{,}8337\right) \times \frac{DT}{\frac{\text{mg}}{\text{L}}(CaCO_3)} \quad \text{(Equação 13)}$$

Por ser necessário perceber concretamente a quantidade de cálcio existente no local de captação da água de compensação, verificou-se que a expressão obtida através da Figura 24 faz uma boa aproximação do valor real deste.

C. Determinação da força iónica das amostras

Para determinar a força iónica das diferentes amostras recolheu-se uma quantidade de água do rio quando a maré estava baixa, (sendo que praticamente não existia água do mar na amostra) e recolheu-se uma quantidade de água do mar, sendo medidas as condutividades de ambas. O resultado obtido, partindo-se do princípio que a água do mar contém sempre a mesma composição iónica, foi o de que a água doce continha uma condutividade bastante reduzida quando comparada com a água do mar. Laboratorialmente, foram realizadas várias diluições à água do rio com a água do mar, para se determinar as condutividades nas diferentes amostras obtidas (resultantes das diluições referidas). Posto isto, estabeleceu-se a relação com a força iónica do mar multiplicada pelos diferentes fatores numéricos.

Quanto ao cálculo da força iónica, considerou-se a composição iónica que se encontra normalmente na água salgada (Tabela 7).

Tabela 7. Iões existentes na água do mar

Compostos iónicos	Concentração $\frac{C}{\mathrm{g/kg}}$
Cl^-	19,35
Na^+	10,76
SO_4^{2-}	2,71
Mg^{2+}	1,30
Ca^{2+}	0,41
K^+	0,40
HCO_3^-	0,14
Br^-	0,07
BO_3H_3	0,03
Sr^{2+}	0,01

Este foi o processo adotado, uma vez que simula o ambiente real na Central Termoelétrica de Lares, quando a água do mar e a água do rio se misturam, influenciando e variando as características da água de compensação do sistema de arrefecimento.

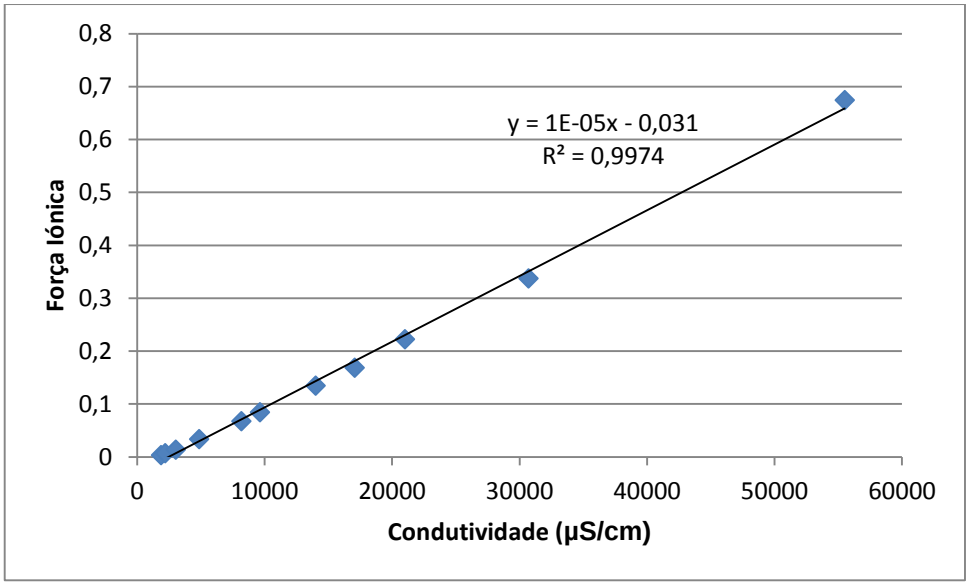

Figura 25. Determinação da força iónica.

Assim:

$$Força\ iónica = 1 \times 10^{-5} \times \frac{CE}{\mu S/cm} - 0{,}031 \qquad \text{(Equação 14)}$$

D. Relação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Dureza Total

Na Figura 26 encontra-se a relação entre os *STD* e os valores de dureza total obtidos.

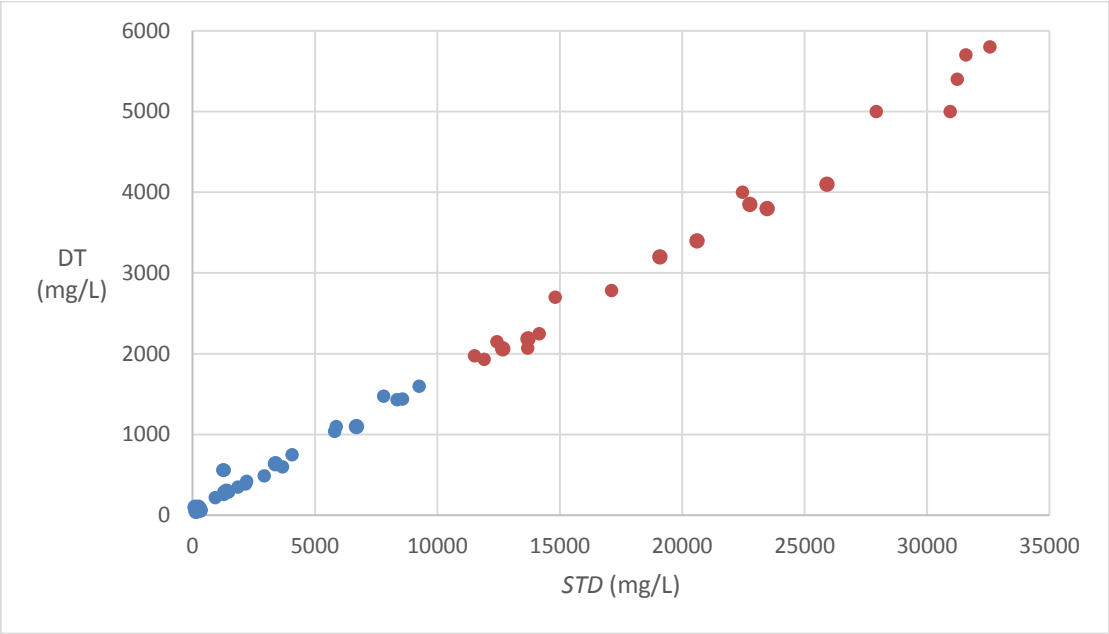

Figura 26. Relação entre *STD* e dureza total.

E. Automatização da injeção de hipoclorito de sódio.

Na Figura 27 encontra-se uma simulação de como automatizar-se-ia, de forma ótima, o sistema de injeção de hipoclorito proposto neste estudo.

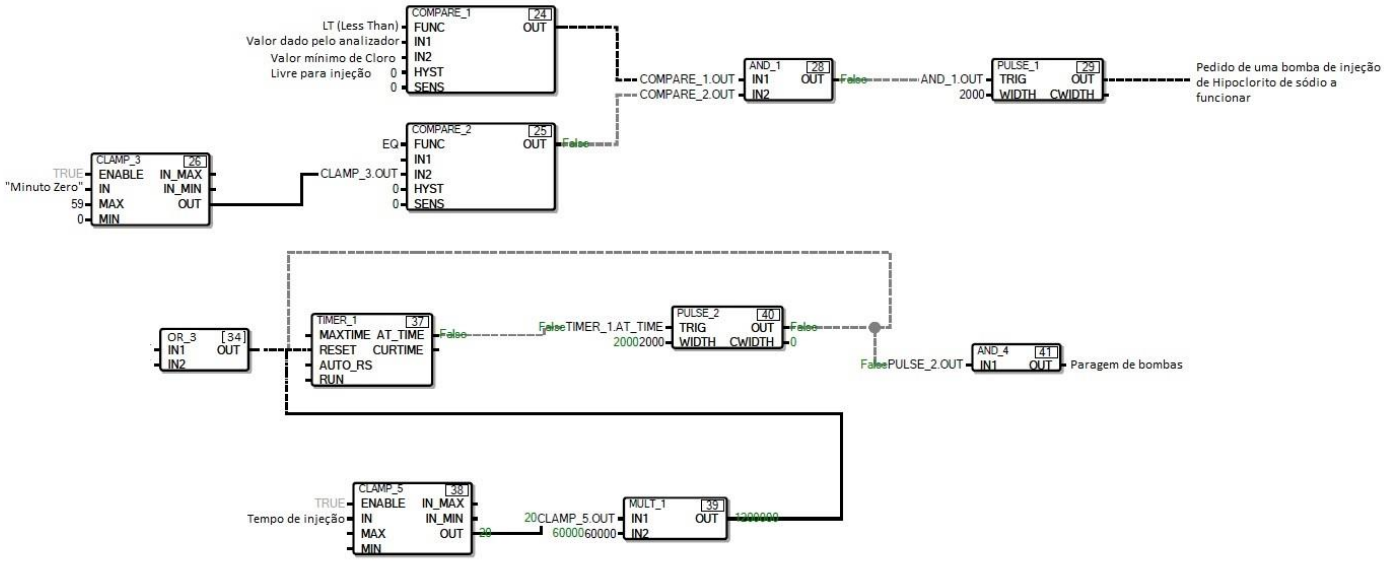

Figura 27. Automatização da injeção de hipoclorito de sódio.